

Aus der Nervenlinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. H. H. Wieck

**Vergleichende Untersuchung
von Messmethoden zur Feststellung einer
hydrocephalen Erweiterung des
Ventrikelsystems**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Edith Bauer, geb. Engerer
aus Burgsalach

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Nervenlinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg

Direktor: Prof. Dr. H. H. Wieck

Vergleichende Untersuchung
von Messmethoden zur Feststellung einer
hydrocephalen Erweiterung des
Ventrikelsystems

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von

Edith Bauer, geb. Engerer
aus Burgsalach

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. Dr. H. Pauly

Referent: Prof. Dr. D. Soyka

Korreferent: Prof. Dr. H.H. Wieck

Tag der mündlichen Prüfung: 19.6.1973

Inhaltsverzeichnis

I	Beschreibung von Meßmethoden zur Feststellung einer hydrocephalen Erweiterung des Ventrikelsystems	1
I.1	Methode nach SCHIERSMANN	2
I.2	Methode nach SCHATZKY	3
I.3	Methode nach LAUBER	3
I.4	Methode nach SCHALTENBRAND	6
II	Problematik der linearen Ventrikelmessung	7
II.1	Problematik des Normalwertes	7
II.2	Definition der Bezugspunkte	10
II.3	Aufnahmetechnisch bedingte Meßfehler	10
II.4	Meßeffect	11
II.5	Empfindlichkeit	12
III	Spezielle Problematik der besprochenen Meßmethoden	14
III.1	Methode nach SCHIERSMANN	14
III.2	Methode nach SCHATZKY	16
III.3	Methode nach LAUBER	17
III.4	Methode nach SCHALTENBRAND	21
IV	Überprüfung der Meßmethoden anhand des eigenen Bildmaterials	23
V	Diskussion der Untersuchungsergebnisse mit Hinweisen zur Anwendung der einzelnen Methoden .	40
VI	Vorschlag einer verbesserten Meßmethode	46
	Zusammenfassung	54
	Literaturverzeichnis	

I

Beschreibung von Meßmethoden zur Feststellung einer hydrocephalen Erweiterung des Ventrikelsystems

Im Jahre 1918 gelang es DANDY, die liquorhaltigen Räume des Gehirns mittels Luftfüllung sichtbar zu machen.

BINGEL, der die Methode 1920 unabhängig von DANDY entwickelte, nannte sie Pneumencephalographie. Obwohl dieses Verfahren nun schon über 50 Jahre in der Klinik angewendet wird, konnte bis zum heutigen Zeitpunkt keine Einigung darüber erzielt werden, wie man zweckmäßig und zuverlässig die altersgemäße Form und Größe des Ventrikelsystems von der eben als pathologisch zu wertenden Erweiterung abgrenzen kann.

Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Methoden zur Auswertung des Pneumencephalogramms entwickelt, die jedoch bei ein und demselben Fall oft zu unterschiedlichen Interpretationen führen.

In der vorliegenden Arbeit sollen vier der heute am häufigsten angewendeten Meßmethoden daraufhin untersucht werden, welche von ihnen beginnende krankhafte Veränderungen des Ventrikelsystems am zuverlässigsten anzeigt.

Neben allgemeinen Betrachtungen über die Formveränderungen des pathologisch sich erweiternden Ventrikelsystems bzw. deren Auswirkung auf die Projektion im Röntgenbild, stützt sich die Studie auf Nachmessung an 287 als normal bewerteten Pneumencephalogrammen und 50 Fällen mit einem Hydrocephalus internus unter Zugrundelegung der vier Meßmethoden.

Das verwendete Material stammt aus der Neuroradiologischen Abteilung der Universitäts-Nervenlinik Erlangen und war von Abteilungsvorsteher Prof. Dr. D. SOYKA beurteilt worden.

Die Einstufung der Befunde als "altersgemäß normal" oder "pathologisch erweitert" erfolgte dabei zunächst auf Grund der langjährigen Erfahrung nach Augenmaß, ohne Zuhilfenahme einer Meßmethode.

Zur Auswertung wurden zwei Standardaufnahmen herangezogen, nämlich die a.p.-Aufnahme und die seitliche Aufnahme bei Rückenlage des Patienten und einem Fokus-Film-Abstand von einem Meter.

Um die verschiedenen Meßmethoden am Ventrikelsystem vergleichen

zu können, ist es notwendig, zunächst ihre praktische Handhabung zu erläutern.

I.1 Methode nach SCHIERSMANN (1):

SCHIERSMANN setzt die auf der a.p.-Aufnahme gemessene größte Schädelbreite mit der größten Ventrikelbreite in Beziehung. Aus dem Verhältnis Schädelbreite/Ventrikelbreite ergibt sich ein Index, der für die Beurteilung "einen gewissen Anhalt" bietet (1).

Dabei gelten folgende Normbreiten:

"Ein Index von 3,0 und darunter spricht für einen sicheren Hydrocephalus. Werte von 3,0 - 3,5 deuten auf eine mäßige Erweiterung der Seitenventrikel hin, die in den meisten Fällen als bereits pathologisch zu bewerten war. Ein Index zwischen 3,5 und 4,0 spricht für eine noch im Bereich des Normalen liegende plumpe Ventrikelform, Werte über 4,0 dagegen lassen eine Erweiterung nahezu ausschließen" (1).

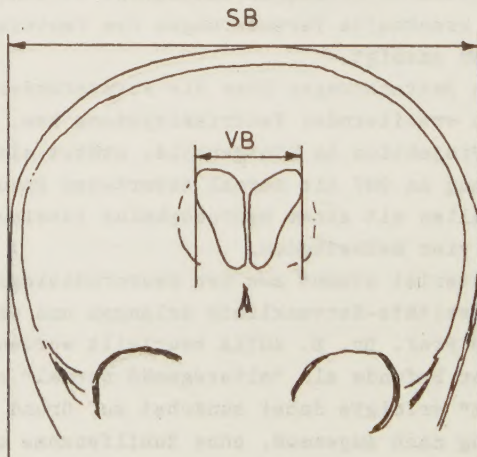


Abb.1: SB: größte Schädelbreite
VB: größte Ventrikelbreite

I.2 Methode nach SCHATZKY:

SCHATZKY wählt als Maß der Ventrikelweite eine Verbindungslinie zwischen dem oberen inneren Winkel (Schnittpunkt des Septum pellucidum mit dem Balken) und dem nahegelegendsten Punkt des Nucleus caudatus (3).

Dabei gelten folgende Normbreiten:

"Eine Ventrikelweite von 1,1 cm oder weniger gilt als normal; Werte von 1,2 - 1,4 cm liegen gewöhnlich noch im Bereich des Normalen. Eine Weite von 1,5 cm wird als Normgrenze festgelegt. Bei Werten über 1,6 cm ist das Ventrikelsystem als erweitert anzusehen" (3).

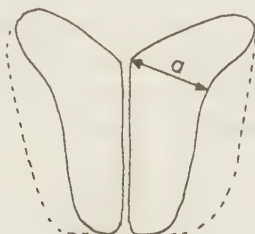


Abb.2: a: "it is the shortest distance between the lateral wall of the ventricular body and the superior medial corner of the ventricle".

I.3 Methode nach LAUBER:

Die Beurteilung eines Pneumencephalogramms nach LAUBER stützt sich auf mehrere Meßwerte, die LAUBER durch statistische Berechnungen als geeignet befunden hat. Es werden dabei folgende Strecken an der a.p.-Aufnahme des Ventrikels gemessen:

SV_{li} , SV_{re} Dieses Maß gibt die Ausdehnung einer Ventrikelhälfte gemäß Abb.3 an. Die Indices li, re kennzeichnen die linke bzw. rechte Ventrikelhälfte.

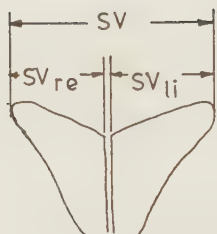


Abb.3

DSV_{li}, DSV_{re}

Hierbei handelt es sich um eine Meßstrecke, welche die Ausdehnung der sog. Ventrikeltaille erfassen soll (Abb.4)

"Dieses Maß wird erstellt aus der Strecke von der inneren oberen Kante des jeweiligen Seitenventrikels über eine von der Mittellinie um 45 Grad verschobene Gerade, die gemessen wird bis zur Begrenzung der Ventrikeltaille" (4).

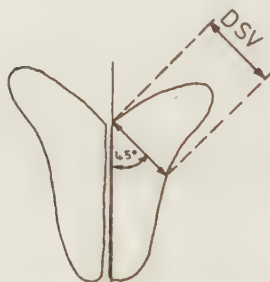


Abb.4: z.B. DSV_{li}: Diagonalmaß des linken Seitenventrikels

LAUBERs Berechnungen führen zu folgenden Ergebnissen:

a) Differenzen folgender Längenmaße	Normgrenzen
1) $SV_{li} - SV_{re}$	0,7 cm
bzw. $SV_{re} - SV_{li}$	0,5 cm
2) $DSV_{li} - DSV_{re}$	0,5 cm
bzw. $DSV_{re} - DSV_{li}$	0,4 cm
3) $SV_{re} - DSV_{re}$	1,0 cm
bzw. $DSV_{re} - SV_{re}$	0,1 cm
4) $SV_{li} - DSV_{li}$	1,0 cm
bzw. $DSV_{li} - SV_{li}$	0,1 cm

Die Grenzbereiche lassen sich einem Auswertungsschema entnehmen.

b) Die halbe innere Schädelbreite wird jeweils geteilt durch die Maße SV_{re} , SV_{li} , DSV_{re} , DSV_{li} . Die Normal-, Grenz- oder pathologischen Bereiche der so erhaltenen Quotienten sind altersabhängig verschieden und können anhand eines Auswertungsschemas ermittelt werden (s.u.).

Ein spezielles Auswertungsschema soll die folgenden Gänge der Auswertung erleichtern:

- 1) gleichzeitige Winkel- und Längenmessung bei den Diagonalmäßen mit Hilfe einer Schablone,
- 2) das Subtrahieren der Längenmaße (a) und die Zuordnung der Werte zum Normbereich, zum Grenzbereich oder zum pathologischen Bereich wird erspart durch das Eintragen der Längenmaße in ein Auswertungsschema,
- 3) die Berechnung der Quotienten erübrigt sich durch Eintragen der Werte in eine Tabelle,
- 4) die altersabhängige Zuordnung der Quotienten (b) zu den jeweiligen Diagnosebereichen wird durch Eintragung in ein Auswertungsschema erleichtert.

I.4 Methode von SCHALTENBRAND:

SCHALTENBRAND mißt die Entfernung des vordersten Poles des Vorderhornes zum Mittelpunkt des Foramen Monroi, die sich im seitlichen, bei Rückenlage des Patienten angefertigten Röntgenbild ermitteln läßt.

Dabei gelten folgende Normbreiten:

Beträgt diese Entfernung 2,5 - 2,8 cm (je nach Schädelgröße), so kann das Encephalogramm als normal angesehen werden. Eine Vergrößerung über 3,0 cm kann "als sicheres und schnell feststellbares Charakteristikum für eine hydrocephalische Erweiterung - zumindest des Vorderhorns - angesehen werden" (5).

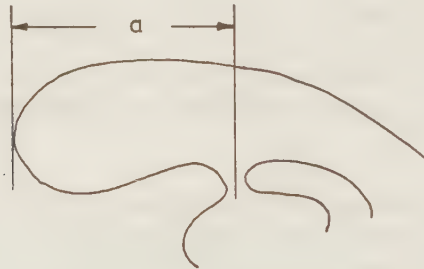


Abb.5: a: Entfernung des vordersten Pol des Vorderhorns bis zum Mittelpunkt des Foramen Monroi.

II

Problematik der linearen Ventrikelmessung

II.1 Problematik des Normalwertes

Der jeweilige Autor geht von zwei Bezugspunkten aus, die er an geeigneten Stellen in der Abbildung des Ventrikels definiert. Er vergleicht deren Entfernung (bzw. die daraus nach besonderen Vorschriften ermittelten linearen Werte oder Quotienten) mit einem Wert, der unter gleichen Meßbedingungen für einen normalen Ventrikel gelten würde.

Aus der Differenz schließt er auf den Grad einer eventuell bestehenden Abweichung, einer Mikroventrikulie oder andererseits einer hydrocephalen Erweiterung. Im Prinzip wäre eine derartige Meßmethode nur dann uneingeschränkt richtig, wenn der sogenannte Normalwert für jeden beliebigen gesunden Ventrikel gleich wäre.

Trotz der erwiesenen individuellen und altersbedingten Variabilität der Ventrikelgröße sind die verschiedenen Meßmethoden auf die Postulierung eines festliegenden Normalwertes angewiesen, da sich bei dem Vorliegen eines Hydrocephalus die Maße des ursprünglich gesunden Ventrikels nicht mehr rekonstruieren lassen. Hierdurch ergibt sich ein schwerwiegender Unsicherheitsfaktor bei der Auswertung eines Pneumencephalogramms.

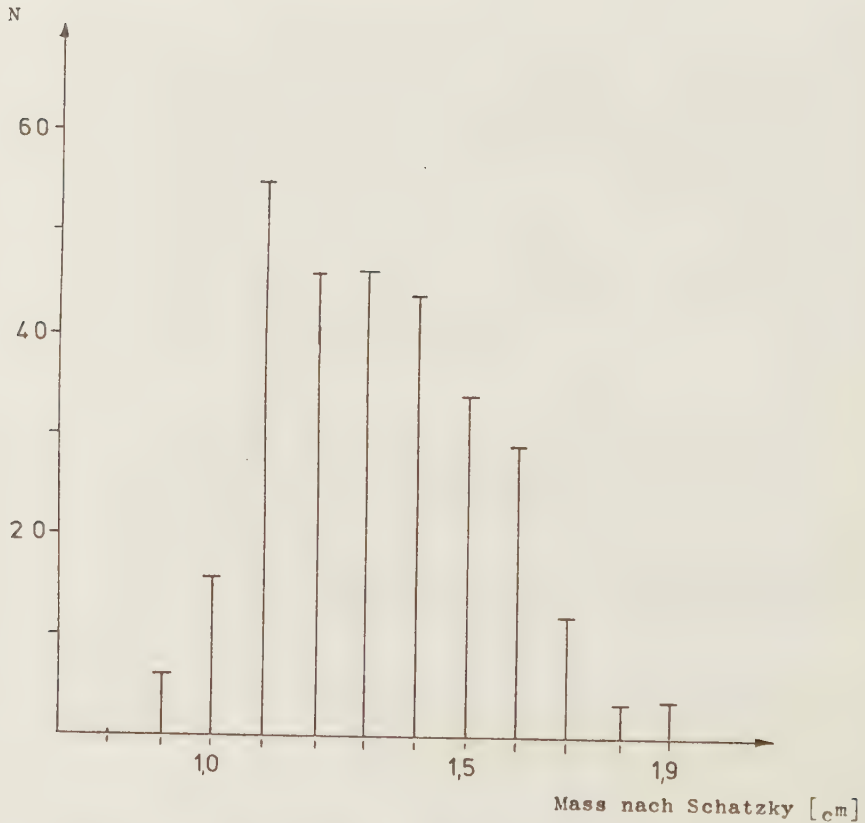
Eine Vorstellung von der Größenordnung dieser Normalwert-Schwankungen vermitteln die beiden Diagramme (Abb. 6 und 7). Sie geben die Normalmaße von 293 Normalfällen in Häufigkeitsverteilung wieder, welche mit Hilfe der Methoden von SCHATZKY und SCHALTENBRAND gemessen wurden (eigenes Material).

Zu Abb. 7:

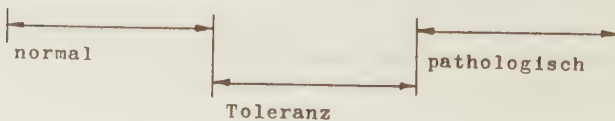
Nur für einen geringen Teil dieser Normalfälle (24%) ist die Bedingung SCHALTENBRANDs zutreffend:

Sicher normal von 2,5 - 2,8 cm. Die restlichen 76% der Normalfälle liegen im Wert bzw. meist über den angegebenen Grenzen, bis weit hinein in den pathologischen Bereich (sicher pathologisch 3,0 cm).

Masse nach Schatzky
von 293 normalen Ventrikeln
in Häufigkeitsverteilung aufgetragen

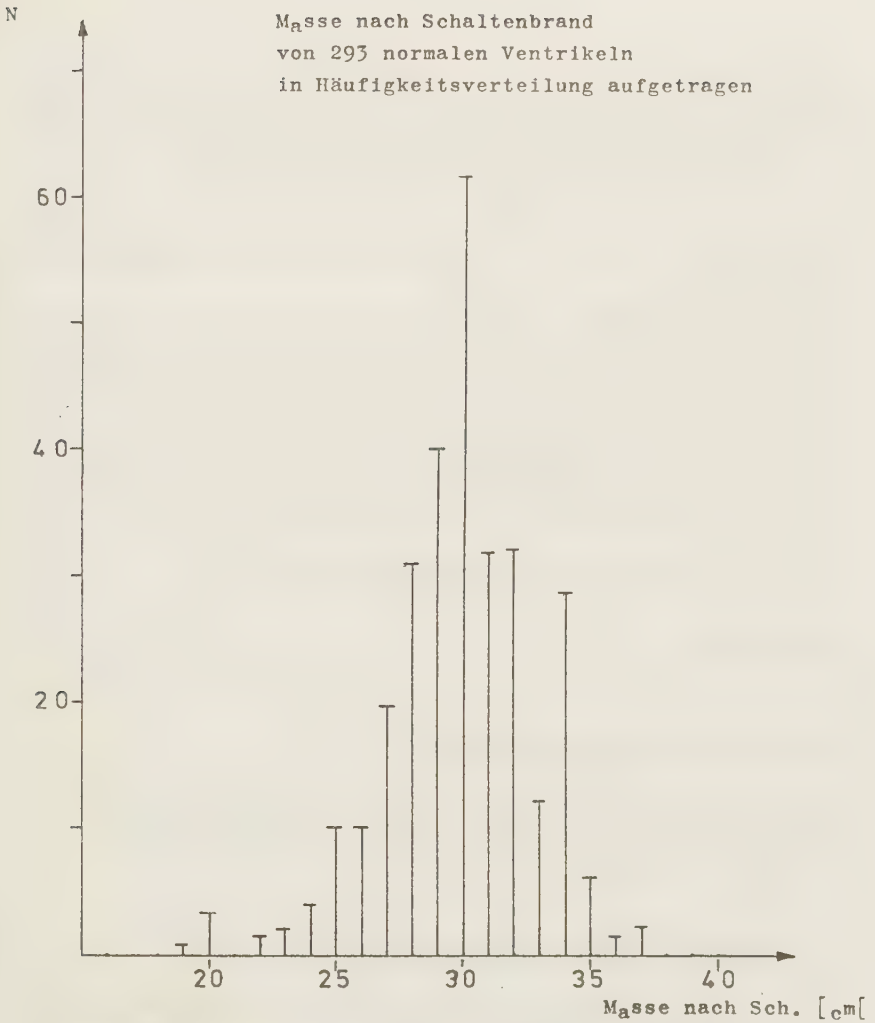


Nach Schatzky sollte zutreffen:

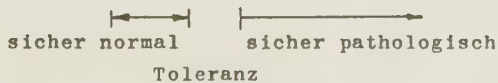


N : Anzahl der Normalfälle

Abb.6



Nach Schaltenbrand sollte zutreffen:



N : Anzahl der Normalfälle

Abb. 7

Um die **t a t s ä c h l i c h e n** Größenverhältnisse in normalen Ventrikelsystemen besser mit den jeweils geforderten Normalbedingungen in Einklang zu bringen, wird der Normalwert bei den vier Methoden mit einer mehr oder minder großen **T o l e - r a n z b r e i t e** angegeben.

Je größer diese Toleranzbreite ist, desto weniger werden normale Ventrikel auf Grund einer Messung fälschlich als pathologisch eingestuft.

Trotz dieses Vorteils ist eine hohe Toleranzbreite ein negatives Kriterium für eine Meßmethode. Liegen nämlich die gemessenen Werte innerhalb der Toleranzbreite oder wenig darüber, so kann man nicht sicher angeben, ob ein großes normales oder ein eben erweitertes Ventrikelsystem vorliegt. Als vergleichbares Maß für diesen "Unsicherheitsfaktor" wird in den folgenden Kapiteln die Toleranzbreite bei den vier Methoden durch den Ausdruck

$$\frac{100 \cdot (\text{Normgrenze} - \text{Normalwert})}{\text{Normalwert}} \quad \%$$

wiedergegeben.

II.2 Definition der Bezugspunkte

Der Ort der Bezugspunkte, die die Meßstrecke begrenzen, muß so definiert sein, daß die Punkte auch bei Veränderungen der Ventrikelform noch exakt konstruierbar sind.

II.3 Aufnahmetechnisch bedingte Meßfehler

Schon durch geringfügige Unterschiede in der Aufnahmetechnik kommt es nach den Gesetzmäßigkeiten der Optik zu Größenveränderungen der abgebildeten Ventrikel oder zu Verzerrungen der Ventrikelformen und damit zu Veränderungen der realen Längenmaße. So wird beispielsweise die Größe des Ventrikelsystems im Röntgenbild vom Abstand der Röntgenröhre bestimmt, und die Form der abgebildeten Ventrikel hängt von der speziellen Kopfhaltung ab. Beide Faktoren können das Ergebnis linearer Meßmethoden verfälschen. Die ermittelten Werte lassen sich dann nicht mehr ohne weiteres mit dem zugrundegelegten Normalwert in Beziehung setzen.

Bei genormten Aufnahmebedingungen (Focus-Filmabstand, Kopfhaltw. ect.) sind diese Abweichungen relativ klein, und sie stellen nur bei solchen Methoden einen Unsicherheitsfaktor dar, bei denen sich die Unterscheidung zwischen normal und pathologisch auf kleine Differenzen stützt.

II.4 Meßeffekt

Eine Abweichung des Meßergebnisses vom Normalwert, welche im Folgenden als Messeffekt bezeichnet wird, soll das Vorliegen eines erweiterten Ventrikelsystems anzeigen.

Bei ein und demselben pathologischen Ventrikel bringt naturgemäß diejenige Methode mit dem größten Messeffekt die höchste Sicherheit in der Aussage. Ein derartiger Vergleich, der in Kap. IV bei zahlreichen Hydrocephali interni (im Folgenden kurz H.int. genannt) durchgeführt wird, bietet den wichtigsten Anhaltspunkt für die Beurteilung der vier Meßmethoden, wenn man folgende Einschränkungen berücksichtigt:

1. Ein Meßeffekt kann "vorgetäuscht" werden durch verschiedene Faktoren, die mit der pathologischen Erweiterung eines Ventrikels nicht zusammenhängen. Hierzu einige Beispiele:
 - a) Große normale Ventrikelsysteme können nach den Kategorien einer bestimmten Messung in den pathologischen Bereich eingestuft werden, wie in Abb.6 und 7 bereits gezeigt wurde. Derartige Fehldiagnosen treten bevorzugt bei einer Methode mit relativ kleinen Meßeffekten und einer niedrigen Toleranzbreite auf.
 - b) Die eigene Statistik hat gezeigt, daß der angegebene Normalwert oft nicht mit dem statistischen Häufigkeitsmaximum übereinstimmt. Eine Verschiebung des Normalwertes hin zum pathologischen Bereich bedingt eine Verminderung des Messeffektes und umgekehrt.
2. Unter bestimmten Voraussetzungen, so bei ungeeigneter Lage der Meßstrecke, besteht keine Proportionalität zwischen dem Grade der pathologischen Erweiterung und dem dazugehörigen Meßeffekt, sodaß beginnende Erweiterungen noch keinen Meßeffekt aufweisen. Das wichtigste Kriterium für eine brauchbare Meßmethode ist aber die sichere Früherkennung von hydrocephalen Erweiterungen.

II.5 Empfindlichkeit

Würde sich ein Ventrikel unter krankhaften Bedingungen gleichmäßig linear in allen Richtungen ausdehnen, so könnte man die Messungen an beliebiger Stelle vornehmen und mit den für diese Stelle geltenden Normwerten vergleichen. Das Ergebnis würde stets den gleichen Grad der Erweiterung dokumentieren.

Die Autoren bevorzugen demgegenüber für ihre Messungen ganz bestimmte, unterschiedliche Bereiche und Bezugspunkte des Ventrikelsystems, zweifellos davon ausgehend, daß ihre spezielle Methode anderen Berechnungen an Präzision und Empfindlichkeit überlegen sei.

Die Frage, ob sich die Erweiterung eines abgebildeten Ventrikels nun gleichmäßig in allen Richtungen und Ebenen abzeichnet oder ob sie sich in bestimmten Projektionen und Ventrikelbereichen frühzeitig und betont erfassen läßt, hat zu lebhafter Diskussion und unterschiedlichen Stellungnahmen geführt.

Es scheint daher notwendig, den Vorgang der Ventrikelerweiterung und seiner Abbildung im Röntgenbild näher zu betrachten. Dabei kann davon ausgegangen werden, daß eine Meßmethode nur dann von Interesse ist, wenn sie auch die frühen und noch leichten Veränderungen des Ventrikelsystems erfassen kann.

Fortgeschrittene Stadien eines Hydrocephalus sind ohnehin erkennbar. Die ersten Veränderungen betreffen, wie schon H.E. KEHRER festgestellt hat, die lateralen Ecken bzw. Umschlagstellen der im a.p.-Strahlengang abgebildeten Seitenventrikel.

H.E. KEHRER formuliert dies folgendermaßen:

"Bei dieser Gelegenheit ist es notwendig, auch auf andere Kriterien hinzuweisen, die es gestatten, ein normal großes Ventrikelsystem auf dem Röntgenbilde von einem erweiterten zu unterscheiden. Abgesehen von der effektiven Größe der luftgefüllten Räume, die der Erfahrene in einem für die Praxis ausreichenden Maße von Genauigkeit abzuschätzen vermag, gibt auch die Form der äußeren Konturen wichtige Hinweise. Im Gegensatz zu der spitzwinkligen Form der oberen äußeren Ecken der Schmetterlingsfigur beim normalen und bei zu kleinem Ventrikelsystem erscheinen die Umschlagstellen zwischen Dach und Seitenwänden der Hirnkammer bei jedem Grade einer hydrocephalen Erweiterung mehr oder weniger stark abgerundet. Dieses Kennzeichen ist besonders für die Erkennung von leichten und beginnenden Hydrocephalusfällen von Bedeutung,

bei denen die Größenschätzung nach Augenmaß gewöhnlich versagt" 6).

Diese Besonderheit der ersten Veränderung läßt sich folgendermaßen erklären:

Ist der Druck im Inneren des Ventrikels stärker als die elastische Rückstellkraft der Ventrikelwände und der anliegenden Gewebe, so erfolgt eine Volumenzunahme des Ventrikelraumes. Bevorzugt ist dabei eine "Ausbuchtung" eingebuchteter Wände, da hierbei eine Volumenzunahme erreicht wird, ohne daß die Ventrikelwand gedehnt werden muß.

Abb. 8 zeigt, daß die Elastizität der Ventrikelwände an bestimmten Stellen durch die Struktur der anliegenden Gewebe eingeschränkt ist.

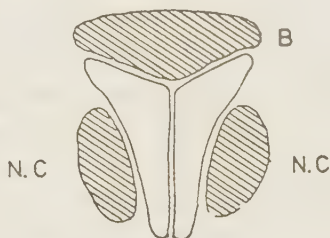


Abb. 8

Das stärkste Hindernis für eine Ausdehnung stellt das derbe Gewebe des Balkens dar. Daher verlaufen die beiden Ventrikeldachlinien in der a.p.-Aufnahme bis hin zu den Schweren H.int. geradlinig.

Eine Behinderung durch den nucleus caudatus im Falle eines Hydrocephalus hypersekretorius erfolgt, wenn überhaupt, in geringerem Ausmaß. Mittelschwere, oft auch schon leichtere H.int. lassen an diesen Stellen bereits eine Erweiterung erkennen.

Betrachtet man aber die früheste Ausdehnung des Ventrikels, so scheint es erklärlich, daß die Umschlagstellen zwischen Dach und Seitenwänden der Hirnkammer den geringsten Widerstand bei einer Volumenvergrößerung erfahren, da keine Behinderung durch anliegende derbe Gewebe erfolgt und die Erweiterung als "Ausstülpung" praktisch dehnungsfrei verläuft.

Genau an dieser Stelle bestehen die günstigsten Voraussetzungen für eine Erweiterung, sowohl bei Zunahme des Liquordruckes als auch bei einer Abnahme des Gegendruckes von außen, etwa infolge einer Hirnatrophie.

III

Spezielle Problematik der besprochenen vier Meßmethoden

III.1 Methode von SCHIERSMANN

zu II.1

SCHIERSMANN versucht, den verunsichernden Faktor der Individualität dadurch zu eliminieren, daß er das Ventrikelmaß mit der der gleichen Individualität unterworfenen Schädelform in Beziehung setzt (Quotient!).

Annahme von SCHIERSMANN

Ventrikelbreite proportional zur Schädelbreite

d.f. Ventrikelbreite = Konstante · Schädelbreite

d.f. $\frac{\text{Schädelbreite}}{\text{Ventrikelbreite}} = \text{Konstante} = \text{Normalwert}$

d.f. für individuell verschiedene normale Ventrikel:

$$\frac{SB_1}{VB_1} = \frac{SB_2}{VB_2} = \frac{SB_3}{VB_3} \text{ usw.} = \text{Konstante} = \text{Normalwert}$$

Der individuelle Faktor wäre ausgeschaltet, wenn sich diese Korrelation als direkt proportional erwiese. Eine solche direkte Proportionalität ist jedoch nie festgestellt worden.

SCHIERSMANN begründet die Beziehung aus "seiner Erfahrung" (1), ebenso stellt LAUBER eine "nicht übermäßig große, aber signifikante Abhängigkeit von Schädelgröße und dem Bild der vorderen Ventrikelabschnitte" fest (4).

BOENING und KONSTANTINU betonen aber auch, daß zu einem großen Schädel nicht unbedingt ein großes Ventrikelsystem gehöre, daß es bei "schweren Gehirnen" sogar umgekehrt sei.

Der Vorteil des Quotienten nach SCHIERSMANN ist demnach gegenüber dem reinen Linearmaß nicht groß, in manchen Fällen aber doch sicher vorhanden.

Konsequent ist die Folgerung SCHIERSMANN's, den Normalquotienten beim älteren Patienten kleiner anzusetzen, weil sich im Alter der Ventrikel, nicht aber der Schädel ausdehnt. Beim frühkindlichen Hydrocephalus ist der Index häufig ungenau, weil hier die pathologische Ausdehnung des Ventrikels durch eine Vergrößerung

des Schädels teilweise kompensiert wird. Nach SCHIERSMANN mißt man dann einen größeren Koeffizienten (= leichteren Hydrocephalus) als es den tatsächlichen Verhältnissen entspricht.

Im Index nach SCHIERSMANN gilt ein Quotient von 3,0 als sicher pathologisch und von 4,0 als sicher normal. Der verunsichernde Faktor der Normaltoleranz beträgt demnach 25%. Hierzu kommt die Verfälschung durch individuelle Schwankungen des Normalwertes, die nicht quantitativ angegeben werden können.

Ein anderer methodischer Fehler kann daraus resultieren, daß bei SCHIERSMANN die Gesamtbreite des Ventrikelsystems gemessen wird. Ist aber nur ein Seitenventrikel pathologisch erweitert, so wird dieser Befund nicht im Index deutlich. Ein kleiner normaler linker und ein erweiterter rechter Seitenventrikel ergäben z.B. die gleiche Strecke und eventuell den gleichen Quotienten wie zwei mittelgroße Hälften. Dieser Fehler ließe sich eliminieren, wenn man den Index für einen Seitenventrikel und die halbe Schädelbreite errechnet.

zu II.2

Die die Meßstrecke begrenzenden Punkte sind als Tangentialpunkte eindeutig definiert.

zu II.3

Ein Vorteil des Quotienten besteht darin, daß sich der aufnahmetechnisch bedingte Vergrößerungsfaktor "wegkürzt".

Einschränkend muß gesagt werden, daß diese Feststellung nur dann gilt, wenn die Projektionsebenen der größten Schädelbreite und der größten Ventrikelbreite zusammenfallen. Da diese Ebenen jedoch nicht völlig übereinstimmen, kann dennoch eine projektionsbedingte Verfälschung des Quotienten resultieren.

zu II.4

Eine vergleichende Darstellung der Meßeffekte ist in dem Diagramm (Abb.12) aufgezeichnet.

zu II.5

Die Meßstrecke am Ventrikelsystem liegt bei SCHIERSMANN in einem Bereich, der frühe pathologische Erweiterungen erkennen läßt.

Da aber zunächst eine Abrundung der Ventrikelecken und erst später die von SCHIERSMANN gemessene Ausdehnung in der Frontalebene erfolgt, wird hier einer der Gründe deutlich, warum sich leichte Veränderungen im Index nicht eindeutig erfassen lassen.

III.2 Methode von SCHATZKY

zu II.1

Die Normgrenze ist als Erfahrungswert festgelegt und läßt die individuellen Schwankungen unberücksichtigt. Wenn man in SCHATZKYs Aussage über die Toleranzbreite "usually normal" so auffaßt, daß darin möglicherweise, wenn auch selten, pathologische Grenzfälle enthalten sein können, so gilt als Grenze:

sicher normal: 1,1 cm;

sicher pathologisch: 1,5 cm;

daraus resultiert eine Toleranzbreite von 36,3%.

Dieser Umstand führt neben den individuellen Schwankungen der Normgrenze und den nachfolgenden aufgeführten Punkten dazu, daß die Sicherheit einer Aussage aufgrund der Meßmethode von SCHATZKY in Grenzfällen sehr gering ist.

zu II.2

Der eine Bezugspunkt (Schnittpunkt des Septum pellucidum mit dem Balken) ist bei abgerundetem Knick nicht exakt definiert. In solchen Fällen muß dieser Bezugspunkt erst durch Verlängerung der Septumlinie und der Balkenlinie bis zum Schnittpunkt konstruiert werden.

eindeutig



nicht eindeutig



Abb.9

Aber auch die Ermittlung des zweiten Punktes (kürzeste Entfernung zur seitlichen Begrenzungslinie der Ventrikelprojektion) kann bei mittelmäßigen und schlechten Aufnahmen ungenau bleiben. Die daraus entstehenden Meßfehler können im mm-Bereich liegen. Das ist gerade bei der Methode von SCHATZKY gravierend, der in einem Bereich von nur 4 mm alle möglichen Grenzfälle einschließt.

zu II.3

Verzerrungen und Größenveränderungen durch unterschiedliche Aufnahmetechnik bewirken eine Veränderung der Meßwerte.

zu II.4

Eine vergleichende Darstellung der Meßeffekte ist in dem Diagramm (Abb.12) aufgezeichnet.

zu II.5

Wenn sich der Ventrikel bei beginnender Erweiterung abrundet, so verlagert sich die Ventrikeltaille nach kaudal und überschreitet in einem mehr oder minder fortgeschrittenem Stadium den Tangential-Meßpunkt. Erst zu diesem Zeitpunkt wird sich ein Meßeffekt zeigen, der dann aber relativ groß ist.

III.3 Methode von LAUBER

zu II.1

Da der Normalwert eines einzelnen Maßes erhebliche Schwankungen zeigt, stützt sich die Diagnose nach LAUBER stets auf eine Korrelation zweier Meßstrecken.

"Korrelation" bedeutet, daß die beiden Meßstrecken durch irgendeine mathematische Funktion miteinander verknüpft sind.

Wird nun diese Korrelation zur Beurteilung des Pneumencephalogramms herangezogen, so gehen die Absolutwerte der beiden Meßgrößen nicht in die Berechnung ein; das Problem der Normalwertschwankungen wäre damit weitgehend gelöst.

Im Bereich der Biologie gibt es aber keine mathematisch exakten Korrelationen, sondern lediglich mehr oder minder große Korrelationsgrade, die durch den sog. Korrelationsfaktor ausgedrückt werden können.

Um zu quantitativen Aussagen zu gelangen, errechnet LAUBER für die Maße DSV_{li} , DSV_{re} , SV_{li} , SV_{re} aus einer sog. "Normgruppe" die statistischen Mittelwerte, die Standardabweichungen und die Vertrauensbereiche auf dem 1%-Niveau.

LAUBER erhält daraus einen Toleranzbereich der absoluten Maße, in welchem mit einer statistischen Sicherheit von 99% alle untersuchten Fälle enthalten sein sollen.

Weiter berechnet er die Korrelationsfaktoren für seine verschiedenen Koeffizienten und gibt die "Brauchbarkeit" dieser Korrelationen durch den "wahrscheinlichen Fehler" an. Bei sämtlichen Berechnungen wird eine Einteilung in Altersgruppen vorgenommen. An dieser Stelle sei vorweggenommen, daß die Erwartungen über die Zuverlässigkeit der LAUBERSchen Methode, gestützt auf die Zahlenangaben über die statistische Sicherheit und die Brauchbarkeit der Korrelationsbeziehungen, durch die Nachmessungen am eigenen Material nicht bestätigt werden konnten.

Zwar befinden sich die Normalfälle fast ausnahmslos unterhalb der angegebenen Normgrenzen; auf hydrocephale Erweiterungen jedoch sprechen die Messungen kaum an. Dabei erweisen sich die Differenzmaße als noch unzuverlässiger als die Quotienten. Eine sichere Unterscheidung zwischen normal und pathologisch ist daher bei Anwendung der Methode von LAUBER nicht möglich.

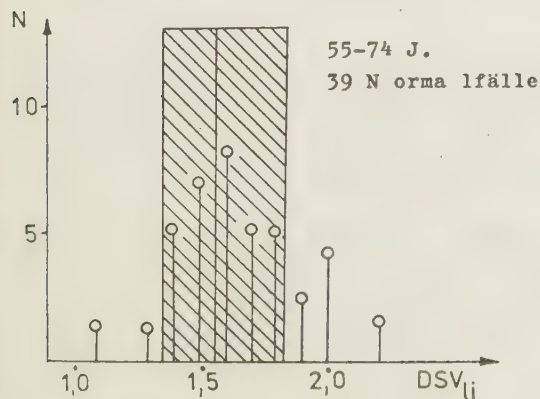
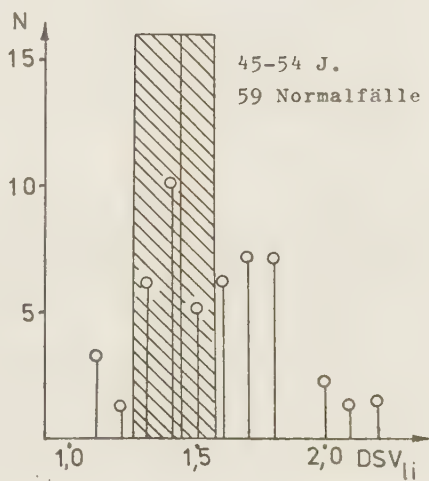
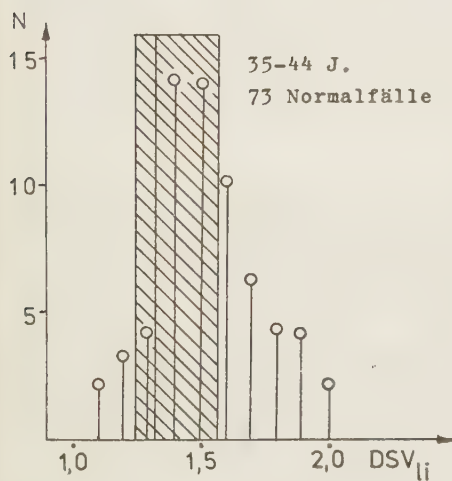
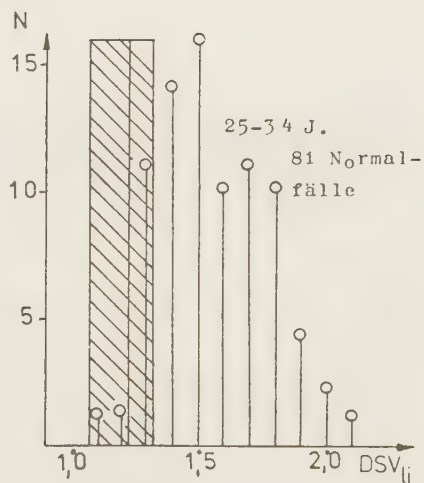
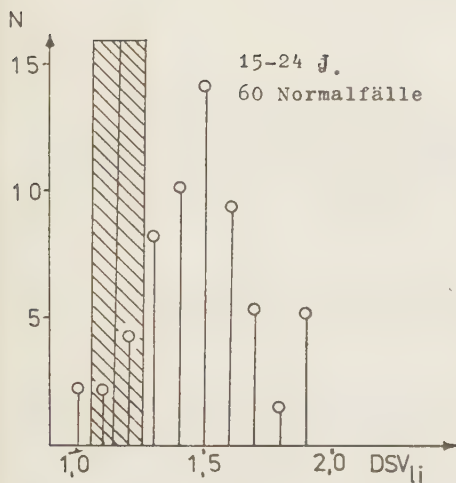
Zur Klärung dieses Widerspruchs wurde hier untersucht, in wie weit die statistischen Werte, die LAUBER angibt, repräsentativ für das Gros der Normalfälle sind und durch eigene Nachmessungen bestätigt werden können.

Aus der Vielzahl der möglichen Beispiele wurde hierfür das Maß DSV ausgewählt, welches LAUBER als "auffallend konstant" (4) bezeichnet hat. Unter annähernd gleichen Bedingungen wie bei LAUBER (Anzahl der Fälle, Altersgruppen) sind in Abbildung 10 die Absolutwerte von DSV_{li} in Häufigkeitsverteilung aufgetragen.

Die schraffierte Fläche zeigt den "Vertrauensbereich", in dem nach LAUBERs Berechnungen Normalfälle mit einer statistischen Sicherheit von 99% enthalten sein müßten.

Die Abbildung zeigt, daß in diesem Beispiel die Werte nicht annähernd mit den Angaben von LAUBER übereinstimmen.

Ein ähnliches, etwas besseres Ergebnis ergibt eine Überprüfung der Koeffizienten (Vgl. Kap. IV).



In den schraffierten
Bereichen sollen nach
LAUBER 99 % der Normal-
fälle enthalten sein.

N : Anzahl der Normal-
fälle

Abb. 10

$SB_i/2 \cdot SV_{li}$ und $SB_i/2 \cdot SV_{re}$ zeigen keinen von 30 untersuchten H. int. an. Etwas günstiger liegen die Quotienten $SB_i/2 \cdot DSV_{li}$ mit 24,2% Treffern und $SB_i/2 \cdot DSV_{re}$ mit 15,1% Treffern bei 33 untersuchten H. int. .

zu II.2

Einer der Punkte, die die Meßstrecken DSV und SV begrenzen, wird wie bei der Methode SCHATZKY an der inneren oberen Ventrikeldecke angenommen.

Da hier aber in vielen Fällen keine Ecke sondern eine Rundung vorliegt, ist der Punkt nicht immer eindeutig definiert. Wenn man bedenkt, daß LAUBER zu seiner Aussage teilweise sehr hohe Meßgenauigkeiten benötigt (z.B. 0,1 cm bei $DSV_{li(re)} - SV_{li(re)}$), so kann die dadurch entstehende Ungenauigkeit nicht vernachlässigt werden. Der Bezugspunkt muß in solchen Fällen durch eine Verlängerung der Septumlinie und der Balkenlinie konstruiert werden.

zu II.3

Die Verfälschung des Meßergebnisses durch eine unterschiedliche Aufnahmetechnik kommt bei LAUBER voll zur Auswirkung, denn er operiert mit Längenmaßen, bei denen eine Differenz von z.B. 0,3 mm (Toleranzbreite bei DSV - SV) entscheidet, ob ein normaler oder ein pathologischer Fall vorliegt. Da diese Differenz durchaus im Bereich projektionsbedingter Vergrößerungsunterschiede bei unterschiedlichem Abstand des Ventrikelsystems von der Röntgenröhre liegen kann, wird die Aussage zweifelhaft.

zu II.4

Die Störgrößen (individuelle Veränderungen, Aufnahmetechnik, Toleranzbereich, Ungenauigkeit der Messung) sind bei LAUBER zwar durch die statistischen Aussagen verschlüsselt, nichtsdestoweniger im Einzelfall genauso möglich wie bei allen anderen Meßarten.

Dem steht ein Meßeffect gegenüber (Diagramm Abb.12), der durchweg kleiner ist als die Summe der Störgrößen, sodaß eine verhältnismäßig hohe Zahl von Fehlbeurteilungen auftritt.

zu II.5

LAUBER versucht das Risiko zu vermindern, sich mit der Messung auf eine ungeeignete Stelle im Ventrikelsystem zu beziehen, indem er verschiedene Bereiche in die Auswertung einbezieht.

III.4 Methode von SCHALTENBRAND

zu II.1

Auch hier wird die Individualität in der Normgrenze nicht berücksichtigt. Ob sie eine stärkere oder schwächere Rolle spielt als im Ventrikelbild der a.p.-Aufnahme, hängt

- a) von den individuellen Größenunterschieden,
 - b) vom individuellen Krümmungsradius der Vorderhörner ab
- und kann ebensowenig wie bei der a.p.-Aufnahme quantitativ ermittelt werden.

Die Toleranz beträgt 20%.

zu II.2

Die beiden Bezugspunkte sind als Schnittpunkte einer vorhandenen und einer im Mittelpunkt des Foramen Monroi konstruierten Begrenzungslinie definiert (siehe Abb.5). Die Konstruktion und Abmessung dieser Linie erweist sich in der Praxis als schwierig, oft sogar als undurchführbar.

Die Begrenzungen der seitlichen Vorderhornprojektion sind oft:

- a) unscharf und
- b) verdeckt von der Projektion des anderen Vorderhorns, die zudem vor und hinter dem zu betrachtenden Abschnitt liegen kann, sodaß eine Zuordnung der Linien erschwert wird.

Die Abbildung des Foramen Monroi ist oft unvollkommen, sodaß dessen Mittelpunkt ebenfalls nicht sicher angegeben werden kann.

zu II.3

Durch eine unterschiedliche Aufnahmetechnik verändern sich auch hier die Beträge der Meßwerte.

zu II.4

Eine vergleichende Darstellung der Meßeffekte ist in Diagramm (Abb.12) aufgezeichnet.

zu II.5

Abbildung 11 dient dazu, die Veränderung der seitlichen Projektion beim pathologischen Prozeß zu veranschaulichen. Sie zeigt die vereinfachte räumliche Darstellung einer Ventrikelhälfte aus der seitlichen Perspektive und deren Projektion in der Bildebene. Außerdem ist der Ventrikel noch querschnittsen und läßt an der Schnittfläche die halbe Schmetterlingsfigur erkennen. Für diese wurde die frühe Ausdehnung in Pfeilrichtung a_1 ermittelt, ein Vorgang, der in der seitlichen Projektion nicht zu erkennen ist, weil er senkrecht zur Projektionsebene verläuft. Die von SCHALTENBRAND gemessene Ausdehnung in Pfeilrichtung b_2 kann also nur durch eine Ausdehnung des gesamten Ventrikels in rostraler Richtung oder durch eine "Entkrümmung" des vorderen Pols des Vorderhorns in die Bildebene bedingt sein (Pfeil b_1). Letzterer Vorgang hätte ebenfalls eine Vergrößerung der Projektion zur Folge. Die beiden Vorgänge setzen, wie sich leicht abschätzen läßt, eine weitaus größere Volumenzunahme voraus als die Abrundung der Umschlagstellen zwischen Dach und Seitenwänden der Hirnkammer, welche sich in der a.p.-Aufnahme als Abrundung der oberen Ecken der Schmetterlingsfigur zeigt. Sie werden daher erst in einem fortgeschrittenen Stadium der Ventrikelerweiterung in der Aufnahme zu erkennen sein.

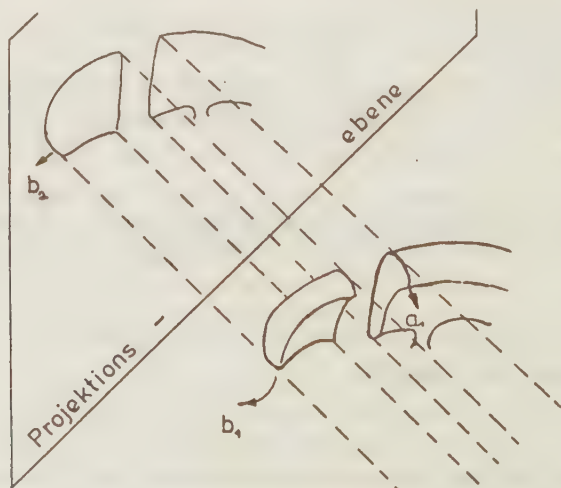


Abb. 11: Räumliche Darstellung und seitliche Projektion einer Ventrikelhälfte

IV

Überprüfung der Meßmethoden an Hand des eigenen Bildmaterials

Als Grundlage für die Beurteilung der einzelnen Methoden wurden zwei Meßreihen durchgeführt. Der erste Teil der Untersuchung enthält Nachmessungen an 287 Pneumencephalogrammen mit altersgemäßer Form und Größe des Ventrikelsystems unter Zugrundelegung der vier besprochenen Methoden.

Hier soll sich zeigen, ob der vom jeweiligen Autor angegebene Normalwert mit den am eigenen Material gemessenen Werten übereinstimmt. Eine Fehleinschätzung des Normalwertes könnte nämlich dazu führen, daß leicht pathologische Befunde noch als normal oder andererseits normale Befunde als bereits pathologisch eingestuft werden.

Die Tabellen 1 - 4 geben die nach den Methoden von SCHIERSMANN, SCHATZKY, SCHALTENBRAND und LAUBER ermittelten Normalwerte der 287 eigenen Fälle wieder und zwar als statistische Mittelwerte aus fünf Altersgruppen. Eine Ausnahme macht dabei die Tabelle 4, da bei der Methode von LAUBER das Alter bereits im Mittelwert berücksichtigt ist.

Um die statistischen Zahlenwerte durchsichtiger zu gestalten, sind zusätzlich die zugrundeliegenden Einzelwerte in Häufigkeitsintervallen grob aufgeschlüsselt.

Ein für alle Altersgruppen gültiger Normalwert ist zwar eine notwendige, aber nicht die einzige Voraussetzung für eine brauchbare Meßmethode. Entscheidend ist ferner der Meßeffect, der die prozentuale Abweichung des Meßergebnisses vom jeweiligen Normalwert im Falle einer pathologischen Erweiterung darstellt. Diejenige Messung, die bei noch geringen Veränderungen am Ventrikelsystem den größten Meßeffect aufweist, ist am besten zur Objektivierung dieser Veränderungen geeignet.

Aufschluß über den Meßeffect gibt der zweite Teil der Untersuchung, welcher Nachmessungen an 50 Hydrocephali interni unter Zugrundelegung der vier besprochenen Methoden enthält.

Das Diagramm in Abb.12 zeigt die Meßeffecte der vier überprüften Methoden bei 30 dem Schweregrad nach geordneten Hydrocephali. Aus dem Diagramm können folgende Informationen über die Qualität

der Meßmethoden gewonnen werden:

1. Die Amplitude der Meßeffekte ist ein Kriterium für die relative Sicherheit der einzelnen Meßmethoden, da bei großem Meßeffekt die beschriebenen Unsicherheitsfaktoren (siehe Kap. II) weniger stark ins Gewicht fallen.

Bei der Auswertung des Diagramms muß berücksichtigt werden, daß die hier verzeichneten Meßeffekte auf die von den jeweiligen Autoren angegebenen Normalwerte bezogen sind. Wie aber die Nachmessungen an Normalfällen gezeigt haben, entsprechen diese in keinem der vier untersuchten Fälle dem statistischen Häufigkeitsmaximum.

Dieses bewirkt eine Verschiebung des Meßeffekts um einen konstanten Faktor nach oben oder nach unten. Die Verschiebung entspricht prozentual dem Grade der Fehleinschätzung und hat nichts mit einem durch die pathologische Erweiterung bedingten Meßeffekt zu tun.

Entsprechende Korrekturvorschläge werden bei der folgenden Einzelauswertung der eigenen Statistik gemacht.

2. Aus der Proportionalität des Meßeffekts zum Grad der hydrocephalen Erweiterung läßt sich erkennen, ob die Meßstrecke an einem Ort im Ventrikelsystem gewählt wurde, wo sich eine Veränderung frühzeitig erfassen läßt.

Somit bildet das Diagramm in Abb. 12 unter Berücksichtigung der aus den Tabellen 1 - 4 erhaltenen Korrekturfaktoren den wichtigsten Anhaltspunkt zur relativen Beurteilung der vier Meßmethoden.

Tabelle 1

1. SCHIERSMANN

Meßmethode: größte Schädelbreite/größte Ventrikelbreite

Normalwerte: Index von 3,5 - 4,0; Normgrenze: 3,5

Eigenes Material: 287 Normalfälle

Alter	Anzahl der Bilder:	57	
15 - 24	Mittelwert MW:	4,47	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,76 - 3,85 :	3 Fälle	
	b) 3,85 - 4,00 :	1 Fall	
	c) 4,90 - 5,77 :	7 Fälle	$4,00 \pm 0,20 : 12 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	77	
25 - 34	Mittelwert MW:	4,44	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,71 - 3,85 :	3 Fälle	
	b) 3,85 - 4,00 :	4 Fälle	
	c) 4,90 - 5,21 :	8 Fälle	$4,00 \pm 0,20 : 16 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	58	
35 - 44	Mittelwert MW:	4,68	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,75 - 3,85 :	2 Fälle	
	b) 3,85 - 4,00 :	2 Fälle	
	c) 4,90 - 5,50 :	12 Fälle	
	d) 5,50 - 6,46 :	5 Fälle	$4,00 \pm 0,20 : 9 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	58	
45 - 54	Mittelwert MW:	4,59	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,90 - 4,00 :	3 Fälle	
	b) 4,90 - 5,53 :	13 Fälle	$4,00 \pm 0,20 : 13 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	37	
55 - 74	Mittelwert MW:	4,45	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,80 - 3,90 :	2 Fälle	
	b) 3,90 - 4,00 :	4 Fälle	
	c) 4,90 - 5,52 :	5 Fälle	$4,00 \pm 0,20 : 11 \text{ Fälle}$

Tabelle 2

2. SCHATZKY:

Meßmethode: kürzeste Verbindung zwischen oberen Winkel und
n. caudatus

Normalwerte: 1,2 - 1,4 cm; Normgrenze: 1,5 cm

Eigenes Material: 287 Normalfälle

Alter	Anzahl der Bilder:	57		
15 - 24	Mittelwert V_{li} :	1,25	Mittelwert V_{re} :	1,22
	Abweichungen v. MW_{li} :		Abweichungen v. MW_{re} :	
	a) 1,70 - 1,65 : 4 Fälle		a) 1,80 - 1,55 : 4 Fälle	
	1,5 $\pm$ 0,1 : 14 Fälle		1,5 $\pm$ 0,1 : 11 Fälle	
Alter	Anzahl der Bilder:	77		
25 - 34	Mittelwert V_{li} :	1,32	Mittelwert V_{re} :	1,31
	Abweichungen v. MW_{li} :		Abweichungen v. MW_{re} :	
	a) 1,90 - 1,75 : 3 Fälle		a) 1,90 - 1,70 : 5 Fälle	
	b) 1,70 - 1,55 : 7 Fälle		b) 1,60 - 1,55 : 3 Fälle	
	1,5 $\pm$ 0,1 : 32 Fälle		1,5 $\pm$ 0,1 : 27 Fälle	
Alter	Anzahl der Bilder:	58		
35 - 44	Mittelwert V_{li} :	1,29	Mittelwert V_{re} :	1,24
	Abweichungen v. MW_{li} :		Abweichungen v. MW_{re} :	
	a) 1,90 - 1,70 : 2 Fälle		a) 1,70 - 1,55 : 4 Fälle	
	b) 1,60 - 1,55 : 7 Fälle			
	1,5 $\pm$ 0,1 : 15 Fälle		1,5 $\pm$ 0,1 : 9 Fälle	
Alter	Anzahl der Bilder:	58		
45 - 54	Mittelwert V_{li} :	1,35	Mittelwert V_{re} :	1,31
	Abweichungen v. MW_{li} :		Abweichungen v. MW_{re} :	
	a) 1,90 - 1,70 : 7 Fälle		a) 1,90 - 1,70 : 4 Fälle	
	b) 1,60 - 1,55 : 7 Fälle		b) 1,65 - 1,55 : 10 Fälle	
	1,5 $\pm$ 0,1 : 18 Fälle		1,5 $\pm$ 0,1 : 21 Fälle	
Alter	Anzahl der Bilder:	37		
55 - 74	Mittelwert V_{li} :	1,38	Mittelwert V_{re} :	1,40
	Abweichungen v. MW_{li} :		Abweichungen v. MW_{re} :	
	a) 1,80 - 1,70 : 4 Fälle		a) 1,90 - 1,70 : 6 Fälle	
	b) 1,65 - 1,55 : 5 Fälle		b) 1,65 - 1,55 : 4 Fälle	
	1,5 $\pm$ 0,1 : 14 Fälle		1,5 $\pm$ 0,1 : 12 Fälle	

Tabelle 3

3. SCHALTENBRAND:

Meßmethode: Entfernung vom vordersten Pol des Vorderhorns bis
Mitte des Foramen Monroi

Normalwerte: 2,5 - 2,8 cm; Normgrenze: 3,0 cm

Eigenes Material: 287 Normalfälle

Alter	Anzahl der Bilder:	57	
15 - 24	Mittelwert MW:	3,04	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,60 - 3,40 :	8 Fälle	
	b) 3,30 - 3,05 :	18 Fälle	$3,0 \pm 0,1 : 30 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	77	
25 - 34	Mittelwert MW:	2,93	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,50 - 3,30 :	7 Fälle	
	b) 3,20 - 3,05 :	17 Fälle	$3,0 \pm 0,1 : 33 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	58	
35 - 44	Mittelwert MW:	2,96	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,80 - 3,50 :	2 Fälle	
	b) 3,40 - 3,05 :	21 Fälle	$3,0 \pm 0,1 : 25 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	58	
45 - 54	Mittelwert MW:	2,98	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,50 - 3,30 :	6 Fälle	
	b) 3,20 - 3,05 :	14 Fälle	$3,0 \pm 0,1 : 27 \text{ Fälle}$
Alter	Anzahl der Bilder:	37	
55 - 74	Mittelwert MW:	3,0	
	Abweichungen v. MW:		
	a) 3,40 - 3,20 :	9 Fälle	
	b) 3,15 - 3,05 :	5 Fälle	$3,0 \pm 0,1 : 17 \text{ Fälle}$

Tabelle 4

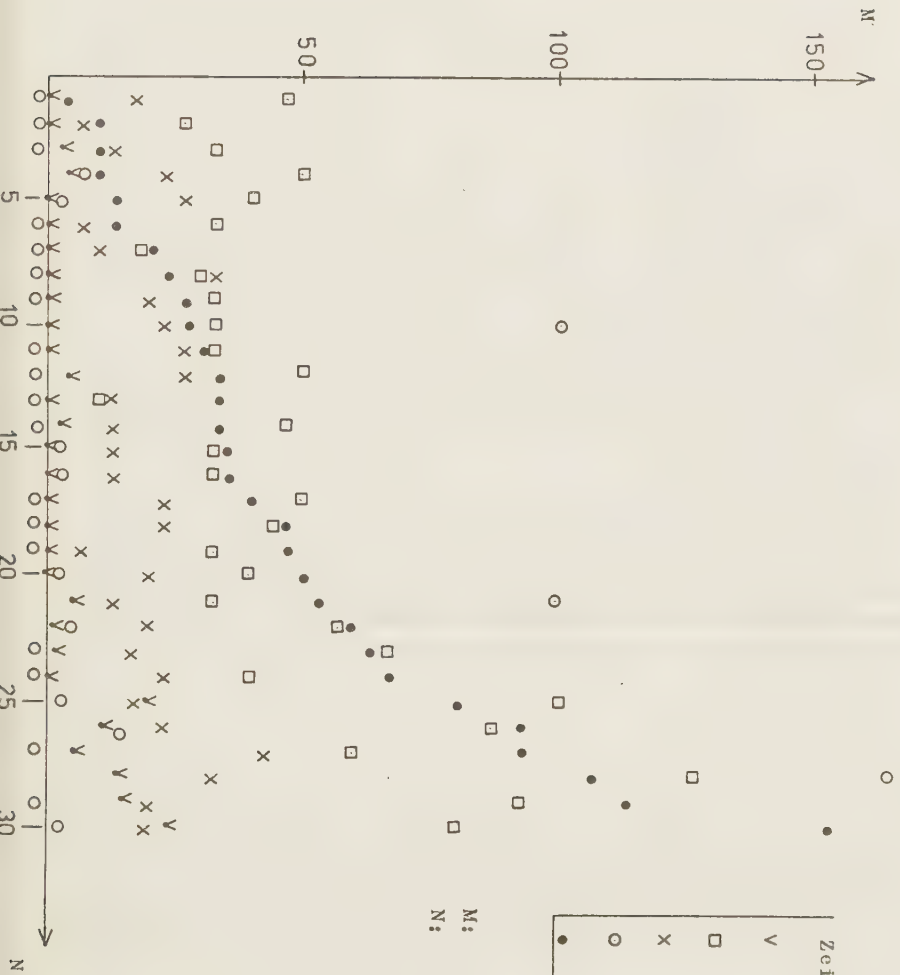
4. LAUBER

- Meßmethode: a) Breitendifferenz zwischen den beiden Seitenventrikeln (a_1 , a_2)
b) Breitendifferenz zwischen den beiden Diagonalmäßen (b_1 , b_2)
c) Breitendifferenz zwischen der gesamten Ventrikelbreite (c_1 , c_2) und dem gesamten Diagonalmäß

Eigenes Material: 287 Normalfälle

a_1	Bedingung:	$SV_{li} - SV_{re}$	max.: 0,7 cm
	nicht erfüllt:	1 Fall: 0,95 cm;	
a_2	Bedingung:	$SV_{re} - SV_{li}$	max.: 0,5 cm
	erfüllt:	alle Fälle befanden sich in den angegebenen Grenzen;	
b_1	Bedingung:	$DSV_{li} - DSV_{re}$	max.: 0,5 cm
	nicht erfüllt:	1 Fall: 0,6 cm;	
b_2	Bedingung:	$DSV_{re} - DSV_{li}$	max.: 0,4 cm
	nicht erfüllt:	2 Fälle: 0,5 cm;	
c_1	Bedingung:	$SV_{re} - DSV_{re}$	max.: 1,0 cm
	erfüllt:	alle Fälle befanden sich in den angegebenen Grenzen;	
c_2	Bedingung:	$SV_{li} - DSV_{li}$	max.: 1,0 cm
	nicht erfüllt:	1 Fall: 1,1 cm;	
d_1	Bedingung:	$DSV_{re} - SV_{re}$	max.: 0,1 cm
	erfüllt:	alle Fälle befanden sich in den angegebenen Grenzen;	
d_2	Bedingung:	$DSV_{li} - SV_{li}$	max.: 0,1 cm
	nicht erfüllt:	1 Fall: 0,2 cm.	

Abb. 12



Zeichenerklärung:

v Schiersmann

□ Schatzky

x Schaltenbrand

o Lauber

• Eigene Methode (Kap.v)

M: Messseffekt [%]

N: Laufende Nr. der

(steigend path.) H.int.

Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse aus dem eigenen Material

Methode von SCHIERSMANN

Auswertung der Tabelle 1

Bei den 287 Normalfällen liegt der gefundene Mittelwert im angegebenen Normbereich.

Ein Teil der Normalfälle fällt nach SCHIERSMANN in die Kategorie "plumpes Ventrikelsystem".

Bei 14 von 50 Hydrocephali liegt der Index nach SCHIERSMANN noch im normalen Bereich.

Daraus folgt, daß die Normgrenze zu niedrig angenommen wurde, d.h. leichte Hydrocephali werden noch als normal, mittelgradige als leichte beurteilt.

Auswertung des Diagramms in Abb. 12

Die Auswirkungen der zu niedrig angesetzten Normgrenze sind auch in dem Diagramm in Abb. 12 ersichtlich. Bei einem durchwegs geringem Meßeffect werden mit einigen Ausnahmen (Nr. 3, 4, 12, 14) nur sehr starke H. int. als solche erfaßt.

Methode von SCHATZKY

Auswertung der Tabelle 2

Die gefundenen Normalwerte liegen, wenn man den statistischen Mittelwert betrachtet, im "gewöhnlich normalen" Bereich.

Da dieser aber bei der hohen Toleranzbreite von 36,3 % sehr groß ist, führt die statistische Betrachtungsweise hier zu einem falschen Bild.

Die Aufschlüsselung des statistischen Normalwertes zeigt nämlich, daß von den 287 Normalfällen 46 nach der Methode von SCHATZKY als pathologisch diagnostiziert werden und eine größere Anzahl im Grenzbereich zwischen normal und pathologisch liegt. Daraus folgt, daß die Normgrenze zu niedrig angenommen wurde; normal weite Ventrikel fallen oft schon in den als pathologisch gewerteten Bereich, pathologische Erweiterungen liegen immer jenseits der Normgrenze. Der Schweregrad der Erweiterung korreliert dabei nicht mit dem ermittelten Wert.

Auswertung des Diagramms in Abb.12

Wenn man in Anbetracht der erheblichen Abweichungen der gefundenen Normalmaße von den angegebenen Werten die Meßeffekte mit einer Korrektur versieht, so erhält man das Diagramm in Abb.13.

Dabei wurden die einzelnen Meßeffekte um 35% verkleinert. Dieser Wert - er entspricht einer veränderten Normaltoleranz von 1,6 - 1,9 cm - wurde abgeschätzt einerseits aus den Zahlenwerten der Tabelle 2 und andererseits aus der Überlegung, daß die Methode wegen ihres guten Ansprechens auf mittlere bis schwere H. int. besonders sicher gemacht werden sollte. Werte zwischen 1,6 und 1,9 cm können nämlich, wie Tabelle 2 zeigt, bei Normalfällen ohne weiteres auftreten. Die Interpretation des Diagramms (Abb.12) stellt sich nach der vorgenommenen Korrektur folgendermaßen dar (Abb.13).

Bis hin zu den mittelschweren H. int. (Nr. 22) vermag die Methode keinen verläßlichen Hinweis darüber zu geben, ob und in welchem Maße eine pathologische Erweiterung vorliegt.

Die Werte sind in diesem Bereich stark gestreut, da sich auf Grund der erforderlichen hohen Meßgenauigkeit die Störfaktoren besonders stark auswirken. Zwischen dem Meßeffekt und dem ansteigenden Grade des pathologischen Vorganges läßt sich kein Zusammenhang erkennen.

Dagegen werden die schweren H. int. durch einen steilen Anstieg des Meßeffektes sehr gut angezeigt.

Dieser Kurvenverlauf bestätigt die theoretischen Erwägungen im Kapitel III/II.5, daß die bei einer pathologischen Erweiterung nach kaudal verlegte Stammganglientaille erst in einem fortgeschrittenen Stadium des Prozesses den Tangentialmeßpunkt überschreitet und dann allerdings auch einen großen Meßeffekt verursacht.

Abb. 13



Messeffekte von 30 H.int.
Nach der Methode v. Schatzky
unter Zugrundelegung der
berichtigten Normgrenze.

M: Messeffekt [%]
N: Laufende Nr. der (steigend path.) H.int.

Methode von SCHALTENBRAND

Auswertung der Tabelle 3

Bei den 287 Normalfällen liegt der gefundene Mittelwert dicht an der Normgrenze.

107 Normalfälle liegen bereits im pathologischen Meßbereich (größte Abweichung 3,8 cm bei Normgrenze 3,0 cm). Daraus läßt sich folgern, daß die Normgrenze zu niedrig angesetzt ist.

Auswertung des Diagramms in Abb.12

Die vom angegebenen Normalwert abweichenden Werte aus der Tabelle 3 und der Verlauf des Diagrammes (Abb.12) lassen eine Korrektur der Meßeffekte um 25% angebracht erscheinen; das entspricht einer Normaltoleranz von 3,1 - 3,5 cm bei einer Normgrenze von 3,7 cm.

Nach der Ausführung dieser Korrektur im Hinblick auf die zu niedrige Normgrenze stellt man fest, daß mit Ausnahme zweier extrem stark erweiterter H. int. die Methode von SCHALTENBRAND auf eine Ventrikelerweiterung nicht anspricht. Der Grund hierfür ist wohl in der Wahl der Meßstrecke zu suchen. Die auffällig starke Streuung der Meßpunkte ist in der oben erwähnten Schwierigkeit in der praktischen Durchführung der Messung und der damit verbundenen Meßfehler zu suchen.

Methode von LAUBER

Auswertung der Tabelle 4

Die Nachmessungen an 287 Pneumencephalogrammen mit altersentsprechend normal weitem Ventrikelsystem ergaben bezüglich der Differenzmaße, daß nur fünf Fälle außerhalb der angegebenen Normgrenzen liegen.

Eine entsprechende Auswertung der Quotienten von 30 Normalfällen ergab, daß nur einer außerhalb der angegebenen Grenzen liegt (siehe Abb.14, 15, 16 und 17).

Auswertung des Diagramms in Abb.12

Da für die Berechnung des Meßeffekts insgesamt 12 Meßergebnisse pro Fall zur Verfügung stehen, wurde hier stets dasjenige Maß zu-

grundegelegt, welches den höchsten Meßeffect aufweist.

Das Diagramm läßt erkennen, daß die Methode von LAUBER bei Zugrundelegung der angegebenen Normalbedingungen auf hydrocephale Erweiterungen fast nicht anspricht.

18 von 30 untersuchten H. int. liegen nicht im pathologischen Meßbereich; selbst bei schweren Hydrocephalusfällen zeigt der Meßeffect keine ansteigende Tendenz. Bei weiteren 8 Hydrocephali liegen die Meßwerte im Grenzbereich, sodaß - die Schwankungsbreite der Unsicherheitsfaktoren eingerechnet - keine sichere Aussage möglich ist.

Bei 3 von 30 Hydrocephali zeigt sich ein extrem hoher Meßeffect, der in diesen Fällen auf die Differenz $DSV_{li}(re) - SV_{li}(re)$ zurückzuführen ist, die bei Normalfällen 1 mm nicht übersteigen darf. Abweichungen hiervon bedingen einen Meßeffect von 100% pro Millimeter. Da diese drei Meßpunkte vollständig aus der Reihe fallen, ist anzunehmen, daß Meßfehler und andere Unsicherheitsfaktoren, die ohne weiteres 1 - 2 mm betragen können, diese Effekte herbeigeführt haben.

Insgesamt läßt sich folgern, daß mit der Methode von LAUBER in der angegebenen Form hydrocephale Ventrikelerweiterungen nicht ausreichend erfaßt und dem Schweregrad zugeordnet werden können. Diese Methode bietet keine Vorteile, die die etwas mühsame und zeitaufwendige Durchführung rechtfertigen würden.

Trotz der schlechten Meßergebnisse gelingt es bei geeigneter Gegenüberstellung der Meßwerte von Normalfällen und H. int. einen Korrekturfaktor zu ermitteln, welcher die Sicherheit bezüglich negativer Fehlbeurteilungen nur unwesentlich vermindert, dafür aber eine weitaus bessere Chance zur Erkennung von H. int. einräumt.

Die Diagramme in Abb. 14, 15, 16 und 17 wurden zu diesem Zwecke ausgearbeitet.

Sie enthalten die jeweils vier Quotienten von 35 H. int. und 30 Normalfällen aus fünf Altersgruppen in Relation zu den von LAUBER angegebenen Toleranzen.

Aus den vier Diagrammen können folgende Informationen über die Quotienten $SB_i/2 SV_{li}$, $SB_i/2 SV_{re}$, $SB_i/2 DSV_{li}$, $SB_i/2 DSV_{re}$ gewonnen werden.

(SB_i : innere Schädelbreite):

1. Die Quotienten $SB_i/2 SV_{li}$ und $SB_i/2 SV_{re}$ erfassen keinen der

35 H. int. als pathologisch.

$SB_i/2 SV_{li}$ führt in 11 von 35 Fällen zu einer Fehldiagnose.

$SB_i/2 SV_{re}$ führt ebenfalls in 11 von 35 Fällen zu einer Fehldiagnose.

Die übrigen H. int. werden auf Grund der Koeffizientennormen in den Grenzbereich eingestuft, innerhalb dessen keine sichere Aussage gemacht werden kann.

2. Etwas vorteilhafter erweisen sich die Quotienten $SB_i/2 DSV_{li}$ und $SB_i/2 DSV_{re}$.

$SB_i/2 DSV_{li}$ zeigt bei 8 von 35 H. int. (23%) die Erweiterung an. 26 Fälle werden in den Grenzbereich eingestuft und in einem Fall kommt es zu einer Fehldiagnose.

$SB_i/2 DSV_{re}$ zeigt bei 5 von 35 H. int. (14%) die Erweiterung an. 29 Fälle liegen im Grenzbereich und in einem Fall kommt es zu einer Fehldiagnose.

3. Eine Gegenüberstellung von 30 unausgewählten Normalmaßen soll bei allen vier Quotienten einen Eindruck darüber vermitteln, wie gut Normalfälle von H. int. durch die Quotienten unterschieden werden. Da eine Abgrenzung relativ gut zu erkennen ist, kann man ohne nennenswerte Einbuße an Sicherheit bezüglich Fehldiagnosen (normal als pathologisch) die oberen Grenzwerte senken und erhält dadurch eine größere Trefferquote in Bezug auf die Erkennung von Hydrocephalusfällen.
- Ein entsprechender Korrekturvorschlag zu den Normgrenzen der Quotienten wird im Kapitel V gebracht.

Methode v. LAUBER

Koeffizienten:

innere Schädelbr.

$\frac{2}{SV} \frac{11}{li}$

Von 35 H.int. (●)

und 30 Normalfällen (○)

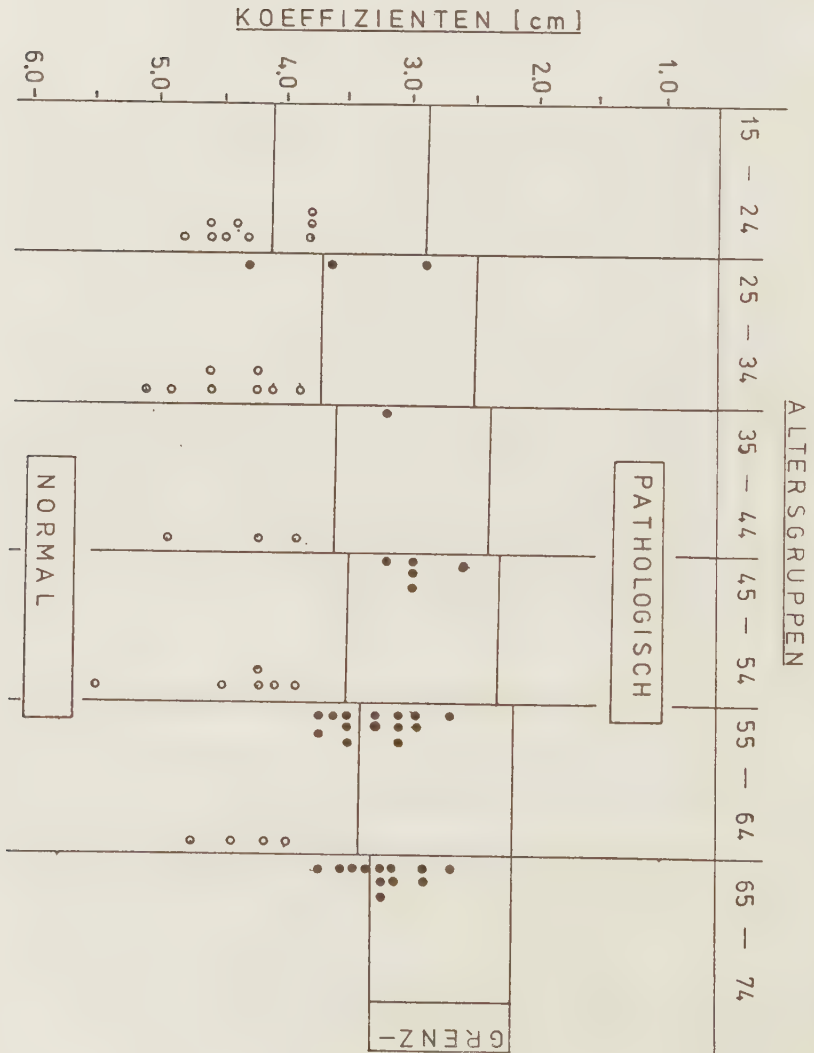
N ach LAUBER soll zutreffen:

Werte zwischen den waagerechten Linien

-im Grenzbereich (keine sichere Aussage!)

Werte darüber: sicher pathologisch

Werte darunter: sicher normal



Methode v. LAUBER

Koeffizienten: Von 34 H.int. (●)
und 30 Normalfällen (○)

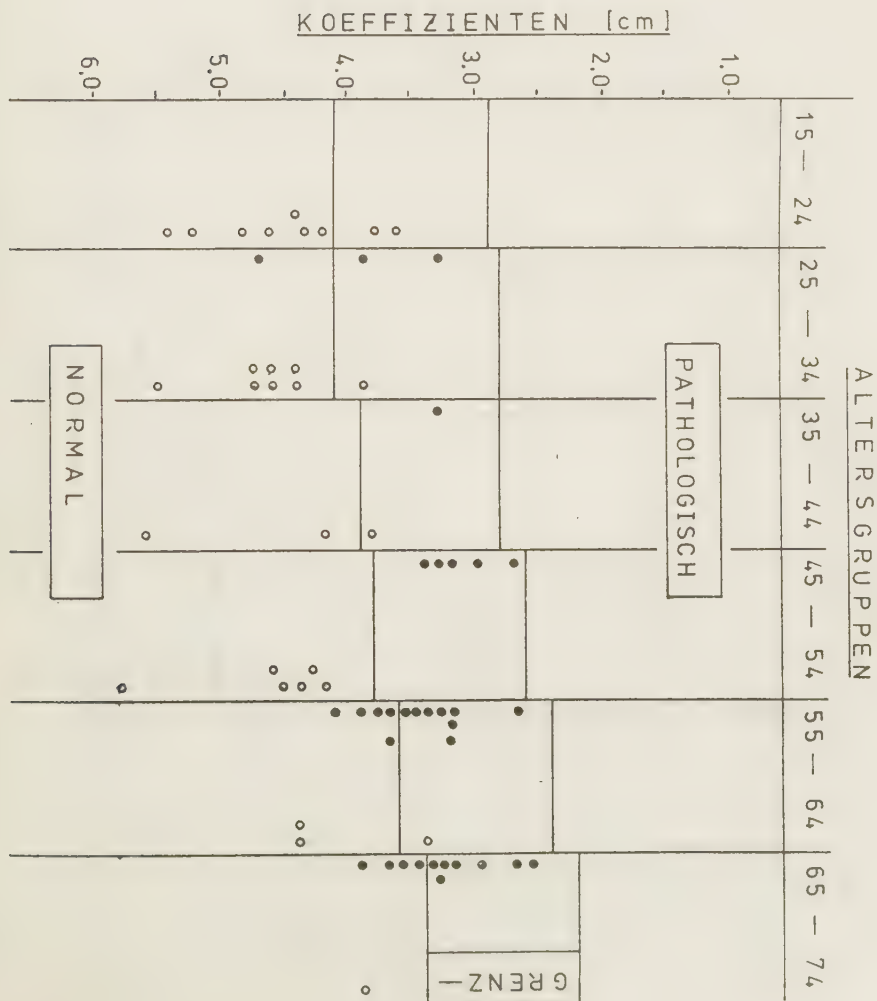
innere Schädelbr.
 $\frac{2}{SV} re$

Nach LAUBER soll zutreffen:

Werte zwischen den waagerechten Linien:
im Grenzbereich (keine sichere Aussage!)

Werte darüber: sicher pathologisch

Werte darunter: sicher normal



Methode v. LAUBER

Abb. 16

Koeffizienten:

Von 34 II. int. (●)

und innere Schädelbr.

und 30 Normalfällen (○)

2 DSV_{li}

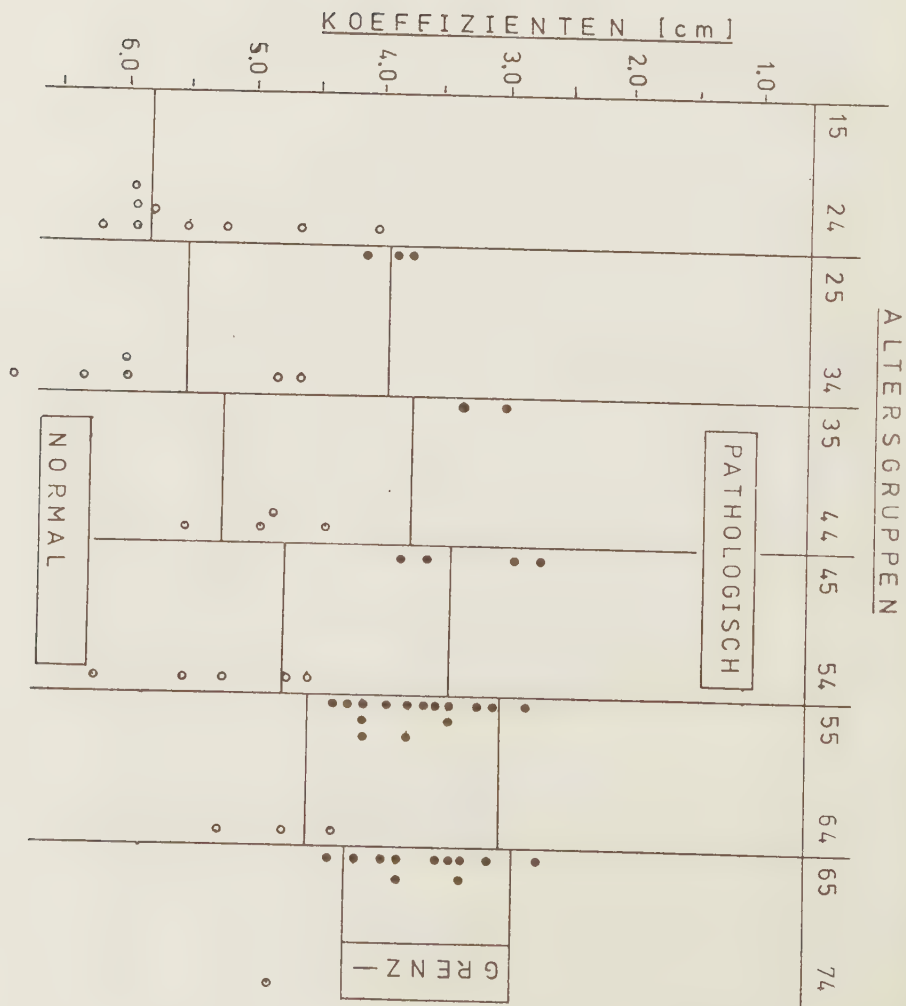
Nach LAUBER soll zutreffen:

Werte zwischen den waagerechten Linien:

im Grenzbereich (keine sichere Aussage!)

Werte darüber: sicher pathologisch

Werte darunter: sicher normal



Methode v. LAUBER

Koeffizienten: Von 33 H.int (•)
 und 30 Normalfällen (○)
 $\frac{\text{innere Schädelbr.}}{2} \text{ DSV}_{re}$

Nach LAUBER soll zutreffen:

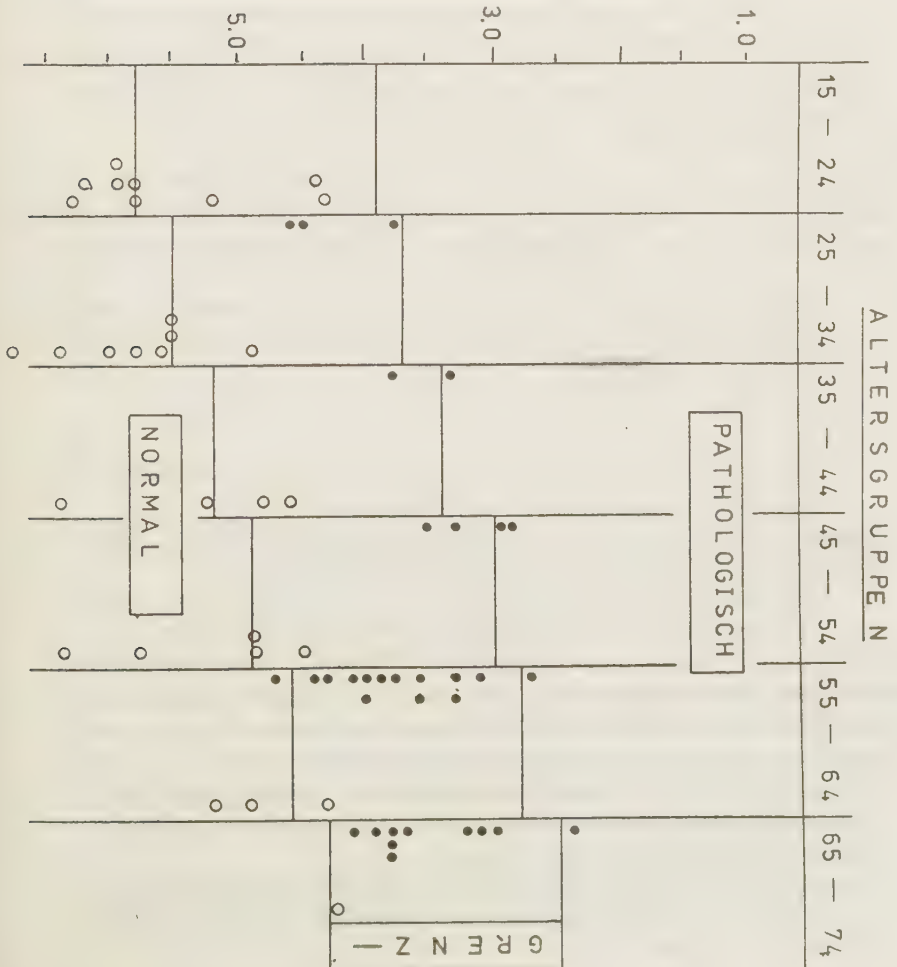
Werte zwischen den waagerechten Linien:

im Grenzbereich (keine sichere Aussage!)

Werte darüber: pathologisch

Werte darunter: sicher normal

KOEFFIZIENTEN [cm]



V

Diskussion der Untersuchungsergebnisse mit Hinweisen zur Anwendung der einzelnen Methoden.

Die Brauchbarkeit der Messmethoden von SCHIERSMANN, SCHATZKY, LAUBER und SCHALTENBRAND zur Auswertung von Pneumencephalogrammen wurde anhand der folgenden Kriterien ermittelt:

Eine Messmethode ist dann brauchbar, wenn bereits bei frühen Stadien der pathologischen Ventrikelerweiterung das Messergebnis deutlich von den entsprechenden Massen bei normalen Ventrikeln abweicht.

Die genaue Kenntnis der jeweiligen Normalwerte im PEG ist die Voraussetzung, um normale von erweiterten Ventrikelsystemen unterscheiden zu können.

Um darüberhinaus eine Früherkennung zu gewährleisten, ist es nötig, daß die Messung an einem Ort der Ventrikelabbildung vorgenommen wird, an dem die beginnende Formveränderung des sich pathologisch erweiternden Ventrikels lokalisiert ist.

In Kapitel II.5 wurde gezeigt, daß sich die früheste Formveränderung in einer Abrundung der lateralen oberen Ventrikelcken zeigt.

Allgemein gültige Normalwerte können wegen deren individueller Variabilität nicht angegeben werden.

Abb. 6 und 7 vermitteln einen Eindruck von der Größenordnung dieser Normalwert-Schwankungsbreite.

Den Individualschwankungen des jeweiligen Normalwertes wird durch die Angabe einer Toleranzbreite Rechnung getragen.

Eine hohe Toleranzbreite stellt einen erhöhten Unsicherheitsfaktor bei der Beurteilung des Messergebnisses dar.

Eine Möglichkeit, den verunsichernden Einfluss der Normalwertschwankungen auf die Auswertung des PEG's zu verringern, sehen SCHIERSMANN und LAUBER in der Verwendung eines Quotienten aus zwei Längenmassen im Ventrikelbild, zwischen denen eine Korrelation besteht. Die Absolutwerte dieser Längenmasse gehen dabei nicht in das Messergebnis ein. Die gewünschte Eliminierung der Individualschwankungen ist aber nur dann gegeben, wenn

1. die Korrelation eine genügend große Signifikanz aufweist und
2. die betrachtete Korrelation nur bei Normalfällen, nicht aber bei H.int. besteht.

Der mittlere Normalwert und die Normgrenzen müssen mit dem statistischen Häufigkeitsmaximum übereinstimmen, da falsche Werte - besonders bei beginnenden H. int. - zu Fehlbeurteilungen führen.

Das Ergebnis einer Statistik mit 287 Normalfällen ist aus den Tabellen 1 - 4 zu entnehmen.

Die durch den pathologischen Vorgang bedingte prozentuale Abweichung des Meßergebnisses von den Normalbedingungen wurde als Meßeffect bezeichnet.

Bei vergleichenden Messungen an Hydrocephalusfällen bringt diejenige Methode die höchste Sicherheit in der Beurteilung eines PEGs, welche - bereits in frühen Stadien der Erweiterung - den größten Meßeffect aufweist.

Das Diagramm in Abb.12 stellt die Meßeffecte für 30 H. int. gegenüber.

(Bei der Auswertung des Diagramms müssen die aus der eigenen Statistik ermittelten, veränderten Normalwerte berücksichtigt werden!)

Die Messungen müssen schließlich so durchgeführt werden können, daß bei normaler Qualität der Röntgenaufnahmen die möglichen Meßfehler klein gegenüber der Toleranzbreite bleiben.

Dies ist nicht gewährleistet bei undeutlichen Bezugspunkten oder Bezugslinien, oder wenn sich die Unterscheidung normal - pathologisch auf sehr kleine Differenzen stützt.

Methode von SCHIERSMANN

1. Der Quotient Schädelbreite/Ventrikelbreite soll die Auswirkungen der Normalwertschwankungen auf das Meßergebnis verringern.

Die erforderliche Korrelation zwischen Schädelbreite und Ventrikelbreite ist jedoch nicht signifikant.

2. Die Normaltoleranz beträgt 25 %.

3. Die eigene Statistik anhand von Normalfällen zeigt, daß der von SCHIERSMANN angegebene Normalwert zu niedrig angenommen ist, sodaß leichte bis mittelschwere H. int. noch als normal eingestuft werden. Dies wird auch durch die Meßergebnisse der untersuchten H. int. deutlich.

Hinweise zur Anwendung der Methode von SCHIERSMANN

Tritt unter den angegebenen Bedingungen ein Meßeffect auf, so

liegt mit größter Wahrscheinlichkeit ein mittlerer bis schwerer H. int. vor, der dann auch meist schon nach Augenmaß erkannt werden kann.

Um bereits leichtere H. int. zu erfassen, ist es notwendig, die Normalwerte zu korrigieren.

Normaltoleranz: 3,8 - 4,3

Normgrenze: 3,8

Durch die Verminderung der Normalwerte werden statistisch betrachtet die Verhältnisse richtiger erfaßt; zwangsläufig wird damit aber das Risiko erhöht, weite normale Ventrikelsysteme fälschlich als pathologisch zu werten, da keine scharfe Abgrenzung zwischen den Meßwerten von Normalfällen und leichteren H. int. möglich ist.

Bei asymmetrisch geformten Ventrikeln ist die Anwendung der Gesamtstrecke problematisch. In diesem Falle empfiehlt sich die Messung der größeren Ventrikelhälfte bei gleichzeitiger Zugrundelegung des doppelten Normalquotienten.

Methode von SCHATZKY

1. Als Beurteilungsgrundlage dient der Absolutbetrag einer im normalen Ventrikelsbild festgelegten Meßstrecke. SCHATZKY ergreift also keine Maßnahme, den Einfluß der Normalwertschwankungen zu verringern.

Abb.6 zeigt die Schwankungsbreite des Normwertes nach SCHATZKY für 287 Normalfälle..

2. Aus diesem Grunde ist die Angabe einer hohen Toleranzbreite des Normalwertes erforderlich.
Die Toleranzbreite beträgt 30,6% und stellt somit einen erheblichen Unsicherheitsfaktor bei der Beurteilung von beginnenden H. int. dar.
3. Die eigene Statistik zeigt anhand von 287 Normalfällen, daß die Normgrenze zu niedrig angenommen wurde.

Normalfälle scheinen oft schon pathologisch und H. int. stärker pathologisch als es den tatsächlichen Verhältnissen entspricht.

Frühe bis mittelgradige H. int. lassen sich nicht eindeutig von Normalfällen abgrenzen.

Mittlere bis schwere H. int. dagegen ergeben einen eindeutigen Meßeffect.

Daraus ergibt sich folgende Korrektur der Normalwerte:

normal: 1,6 - 1,9 cm

darüber: pathologisch

Unter diesen Bedingungen ist das Auftreten eines Meßeffectes ein sicherer Hinweis dafür, daß ein mittelgradiger bis schwerer H. int. vorliegt.

4. Ein Bezugspunkt für die Meßstrecke ist bei abgerundetem Knick (Scheitel des inneren oberen Winkels) nicht definiert. In diesem Falle empfiehlt sich die Konstruktion dieses Punktes als Schnittpunkt der verlängerten Septumlinie und der Balkenlinie.

Methode von SCHALTENBRAND

Die individuellen Normalwertschwankungen bleiben unberücksichtigt. Die Normgrenze wurde zu niedrig angenommen (eigene Statistik!) Aus der Tabelle 3 wurden folgende Werte für die verbesserte Normaltoleranz ermittelt:

normal : 3,1 - 3,5 cm

Normgrenze: 3,7 cm

Wenn man so den Normalbereich in Übereinstimmung mit der eigenen Statistik bringt, stellt man fest, daß durch die Methode ein erweitertes Ventrikelsystem nicht zuverlässig von einem Normalen abgegrenzt werden kann.

Die praktische Durchführung der Messung ist schwierig und mit grossen Meßfehlern verbunden.

Methode von LAUBER

Wenn man die verschiedenen Einzelmessungen in ihrer Gesamtheit betrachtet, so kann festgestellt werden, daß bei Anwendung der Methode zwar keine Normalfälle als pathologisch bewertet werden, dafür aber auch nur eine geringe Anzahl von H. int. als solche erkannt werden.

Einzeln gesehen fällt die Bewertung der zu einer Fallbeurteilung herangezogenen Einzelmessungen unterschiedlich aus.

1. Differenzmaße

Die Toleranzen der Differenzmaße sind so hoch angesetzt, daß sie alle Normalfälle, aber auch die meisten Hydrocephalusfälle einschließen und somit zur Unterscheidung zwischen normal und pathologisch nicht herangezogen werden können.

Eine Ausnahme macht die Differenz DSV - SV (maximal 1 mm), welche aber im Falle eines Meßeffectes wegen der Meßfehler von vergleichbarer Größe nur mit äußerster Vorsicht zu betrachten ist.

2. Quotienten

- Sie haben ebenfalls geringe Trefferquoten bezüglich der Erkennung von Hydrocephalusfällen.

a)	$SB_i/2 SV_{li}$	0 % Treffer
b)	$SB_i/2 SV_{re}$	0 % Treffer
c)	$SB_i/2 DSV_{li}$	23 % Treffer
d)	$SB_i/2 DSV_{re}$	14 % Treffer

bei 30 untersuchten H. int.

Der Grund hierfür ist bei den angegebenen Normalwerten zu suchen, für deren Ermittlung allein der Gesichtspunkt der maximalen Sicherheit für Normalfälle und nicht die Realität der Hydrocephalusmaße ausschlaggebend war.

Da die Abb. 14, 15, 16 und 17 eine relativ gute Abgrenzung zwischen Normalmaßen und den entsprechenden Maßen von H. int. erkennen lassen, ist es möglich, ohne nennenswerte Einbuße an Sicherheit bezüglich Fehldiagnosen (normal als pathologisch) durch folgende verbesserte Normalwerte die Trefferquote bezüglich der Erkennung von H. int. erheblich zu erhöhen.

Änderungsvorschlag zu den Normalwerten der Quotienten:

Quotient	Alter (J)	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74
$SB_i/2SV_{li}$	o	2,7-3,9	2,5-3,7	2,4-3,6	2,3-3,5	2,2-3,4	2,1-3,2
	x	2,7-3,1	2,5-3,3	2,4-3,3	2,3-3,3	2,2-3,2	2,1-3,1
$SB_i/2SV_{re}$	o	2,9-4,1	2,8-4,1	2,7-3,9	2,5-3,8	2,3-3,6	2,1-3,4
	x	2,9-3,2	2,8-3,4	2,7-3,4	2,5-3,4	2,3-3,2	2,1-3,0
$SB_i/2DSV_{li}$	o	4,2-5,8	3,9-5,5	3,6-5,2	3,3-4,7	3,0-4,5	2,8-4,2
	x	4,2-3,8	3,9-4,2	3,6-4,2	3,3-4,2	3,0-4,0	2,8-3,8
$SB_i/2DSV_{re}$	o	5,8-3,9	5,5-3,6	5,2-3,3	4,9-3,0	4,5-2,7	4,3-2,4
	x	5,8-3,9	5,5-4,3	5,2-4,3	4,9-4,3	4,5-4,2	4,3-4,0

- o Normaltoleranz nach LAUBER
- x Verbesserungsvorschlag für die Normaltoleranz
(Diese Werte können nur unter Vorbehalt angegeben werden, da die zugrundeliegende Statistik (Abb.14, 15, 16, 17, je 63 untersuchte Fälle) mit einer relativ kleinen Anzahl von untersuchten Fällen operiert.

VI

Vorschlag einer verbesserten Meßmethode

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die verschiedensten Fehlerquellen diskutiert, die sich einzeln oder in ihrer Summe derart auswirken, daß keine der überprüften Meßmethoden im Einzelfall eine verlässliche Aussage über die pathologische Wertigkeit des Ventrikelsystems erlaubt.

Das statistische Material bestätigt die vielfach vertretene Ansicht, daß letzten Endes die Erfahrung des auswertenden Arztes das beste Kriterium für die Entscheidung bleibt.

Sicherlich könnten noch einige andere Meßstrecken gewählt, Differenzen oder Quotienten gebildet werden - die erörterten Probleme blieben dennoch bestehen. Es erscheint daher notwendig, sich von dem Grundgedanken der linearen Meßmethoden zu lösen und einen grundsätzlich anderen Weg zu suchen, der an diesen Fehlerquellen vorbeiführt.

Derartige Versuche sind schon wiederholt unternommen worden, etwa durch die Einführung eines planimetrischen Verfahrens, haben sich aber aus den verschiedensten Gründen nicht durchsetzen können.

Im Folgenden soll eine neue Meßmethode erläutert und zur Diskussion gestellt werden. Auf die Abschnitte II.1 bis II.5 wird Bezug genommen.

VI.1

Es wurde bereits dargelegt, daß sich lineare Messungen mit dem Vergleich einer gemessenen und einer angenommenen Entfernung nicht gut zur Erkennung eines Hydrocephalus eignen, weil die angenommene Entfernung (Normalwert) nicht als konstant und damit als bekannt vorausgesetzt werden darf. Es ist erwiesen, daß innerhalb einer Species die Form bedeutend konstanter ist als die Größe, weil die Form auf überlieferten genetischen Informationen beruht, die Größe aber durch unspezifische Faktoren wie hormonelle Wirkung, Entwicklungsbedingungen etc. mitbestimmt wird. Ein Vergleich der Schmetterlingsfiguren gesunder Ventrikelsysteme bestätigt diese Annahme.

Betrachtet man demnach die Größe des gesunden Ventrikels als variabel, die Form als einigermaßen konstant, so hat man es bei den individuell unterschiedlich großen Ventrikeln mit geometrisch ähnlichen Figuren zu tun. Sucht man nun nach einer Meßgröße, die bei unterschiedlich großen, aber geometrisch ähnlichen Figuren konstant bleibt, so bietet sich zwangsläufig der Winkel an. Nur er kann als konstant angesehen und daher als Normmaß zu Grunde gelegt werden. Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß auch LAUBER bei seinem Diagonalmäß einen Winkel verwendet, jedoch nur als Konstruktionshilfe und nicht als Maß.

VI.2

Der Wahl des Scheitelpunktes und der beiden Schenkel dieses Winkels im a.p.-Ventrikelbild liegen folgende Überlegungen zu Grunde:

- a) Von Interesse kann eine Messung nur dann sein, wenn sie die frühesten Veränderungen des Ventrikelsystems erfassen kann; fortgeschrittene Stadien der Ventrikelerweiterung sind ohnehin erkennbar.
- b) Die ersten radiologischen Zeichen der beginnenden Ventrikelerweiterung betreffen im a.p.-Bild, wie bereits erläutert wurde, die oberen lateralen Seitenventrikelecken (6).

Konstruktionshinweis 1

Die zunehmende Abrundung und Erweiterung der lateralen Ventrikelecken führt dazu, daß ein dort gemäß Abbildung 18 angelegter Tangentialpunkt seine Position in caudaler Richtung verändert.

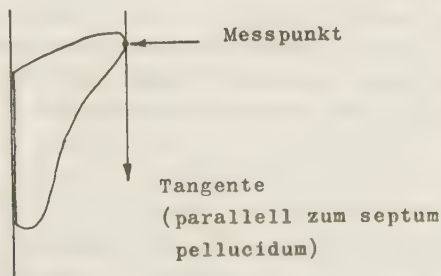


Abb.18

Dieser Punkt liegt auf einer parallel zur Mittelachse gezogenen Tangente, die den am weitesten seitlich gelegenen Punkt am Übergang der Stammganglienlinie zum Ventrikeldach berührt. Der Scheitelpunkt des Meßwinkels wird als Schnittpunkt der Septumlinie und der dem Balken entsprechenden Ventrikeldachlinie definiert (a und b in Abb.19).

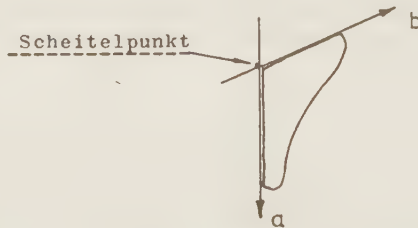


Abb.19

Durch diesen Scheitelpunkt und den seitlichen Tangentialpunkt ist der eine Schenkel des Meßwinkels bestimmt.

- c) Man kann feststellen, daß die beiden zuletzt genannten Geraden, nämlich die in der Mittelachse verlaufende Septumlinie und die durch die Balkenstruktur bestimmte Ventrikeldachlinie ihre Linearität und Winkelneigung zueinander nicht verändern und zwar bis hin zu den mittelschweren Hydrocephali. Vor allem die Ventrikeldachlinie, die von den kräftigen Strukturen des darüberliegenden Balkens bestimmt wird, erweist sich als konstant.

Konstruktionshinweis 2

Somit bietet sich die Ventrikeldachlinie als zweiter Schenkel des Meßwinkels an.

Bei Ventrikelerweiterungen bleibt die Ventrikeldachlinie weitgehend lagekonstant, während der andere, durch den seitlichen Tangentialpunkt gezogene Schenkel seine Position verändert. Es resultiert eine Zunahme des Winkels.

VI.3

Die Gesamtkonstruktion mit einem Zeitaufwand von etwa 2 Minuten ist der Abbildung 20 zu entnehmen.



Abb.20

Der Scheitelpunkt des Winkels ist der Schnittpunkt der Geraden a und b. Der zu messende Winkel wird von den Geraden b und c begrenzt.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Ventrikelkonturen auf Transparentpapier zu übertragen und dann die Konstruktion auszuführen.

Ergebnis der Nachmessungen an 40 Normalfällen und 30 H. int. unter Zugrundelegung der eigenen Meßmethode

Die eindeutige Abgrenzung normal weiter Ventrikel von pathologisch erweiterten durch das Winkelmaß (Abb.21) ermöglicht es, die Normgrenze ohne Angabe einer Toleranzbreite bei 15° festzusetzen.

1. Normalfälle

Alle 40 untersuchten Normalfälle liegen im Normalbereich, die meisten bei etwa 9° .

In diesem Zusammenhang wurde noch untersucht, ob eine Abhängigkeit des Winkels von Alter oder Geschlecht besteht.

Das Diagramm in Abb.22 läßt keinen deutlichen Zusammenhang erkennen (welches u.U. auf die relativ kleine Anzahl der 38 daraufhin untersuchten Normalfälle zurückzuführen ist); lediglich im Bereich ab 55 Jahre ist eine ansteigende Tendenz des Winkels sichtbar, die bei der Beurteilung dieser Altersgruppe berücksichtigt werden könnte. Eine Notwendigkeit hierzu besteht nicht, da auch hier die Werte deutlich unter der Normgrenze liegen.

Eine Abhängigkeit des Winkels vom Geschlecht ist in dem vorliegenden Diagramm nicht erkennbar.

2. Hydrocephali int.

- a) Die gemessenen 30 H. int. werden alle in den pathologischen Meßbereich eingestuft; eine Abstufung nach steigendem Schweregrad der H. int. deckt sich gut mit der vorangegangenen Beurteilung durch Prof. Dr. D. SOYKA.
- b) Der große Meßeffect ist in dem Diagramm (Abb.23) aufgezeichnet; ein Vergleich mit den vier besprochenen Meßarten zeigt nach den notwendigen Korrekturen der angegebenen Normgrenzen den Vorteil des Winkelmaßes.
Man erkennt die Proportionalität der Werte zum Schweregrad der H. int.. Durch den großen Sicherheitsabstand der Normgrenze zu den Normalwerten können auch die Meßeffecte der beginnenden H. int. als sicheres Erkennungszeichen für den pathologischen Vorgang gewertet werden.

VI.4 Vorteile der eigenen Methode gegenüber linearen Meßmethoden

- a) Sie ist weitgehend unabhängig von den individuellen Größenverhältnissen des nicht mehr rekonstruierbaren, ursprünglich gesunden Ventrikels und somit frei vom Problem der Normwertschwankungen.
- b) Projektionsbedingte Verzerrungen der Ventrikelgröße, wie sie wegen der Strahlendivergenz bei ungenauen nicht genormten Röhrenabstand zustande kommen, bleiben ohne Einfluß auf die Genauigkeit der Methode (Winkelkonstanz bei Ähnlichkeit!).
- c) Die Methode erfaßt schon frühe Stadien des H. int., wobei
- d) der Meßeffect stets bedeutend größer als bei allen untersuchten Meßmethoden ist. Aus diesem Grunde besteht auch keine Notwendigkeit, eine "Unsicherheitszone" durch Toleranzbreite zu schaffen. Ist ein Fall pathologisch zu werten, so wird er mit eindeutigen Meßeffect als solcher identifiziert. Bei einer Normgrenze von 15° liegen alle Normalfälle weit darunter, alle hier gemessenen pathologischen Fälle deutlich darüber.
- e) Gegen den großen Meßeffect fallen eventuelle Störgrößen nicht ins Gewicht.

Abb. 21

Abgrenzung normal/pathologisch durch das Winkelmass

W: Messwinkel (eigene Methode) [Grad]

N: Laufende Nr. der nach steigendem Winkel
geordneten H.int. (•) und Normalfälle (o)

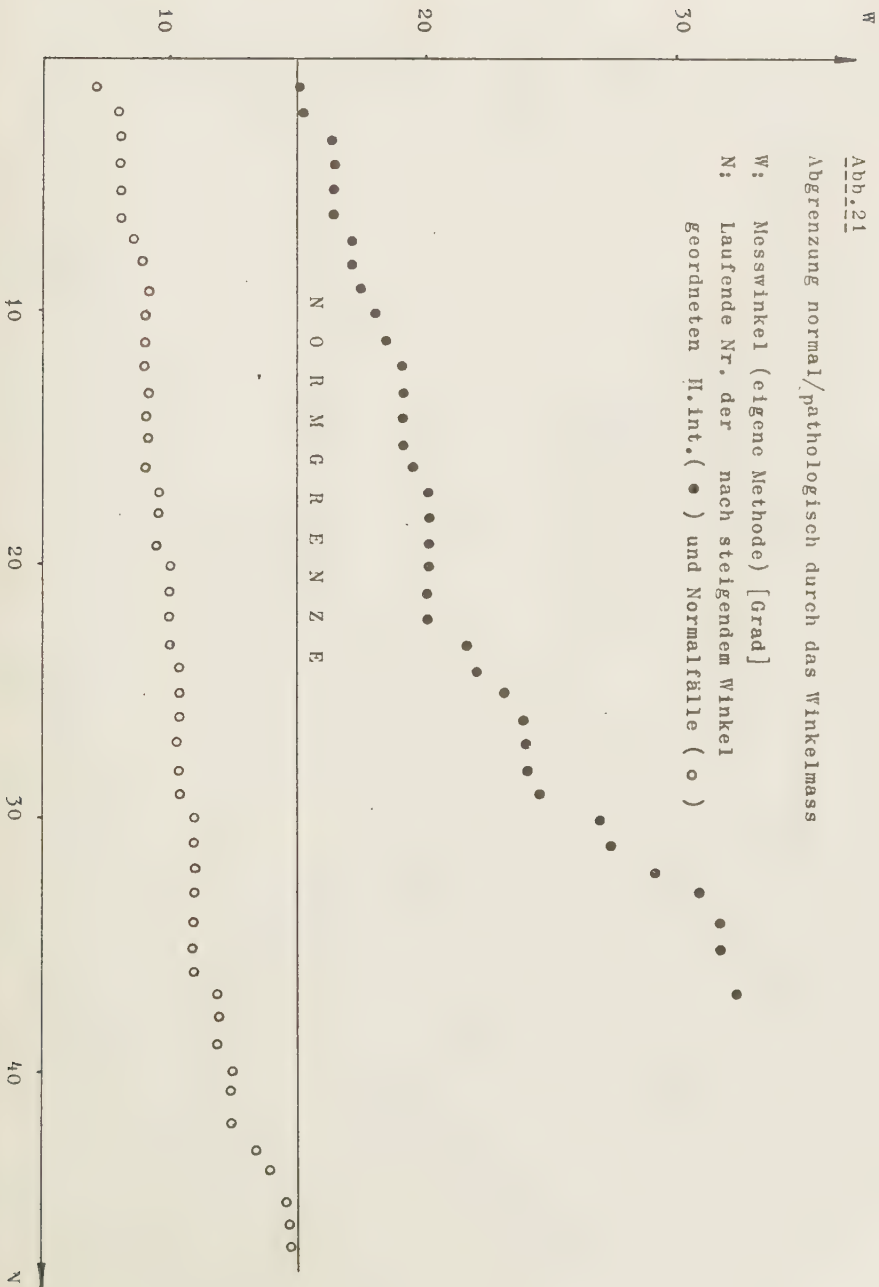
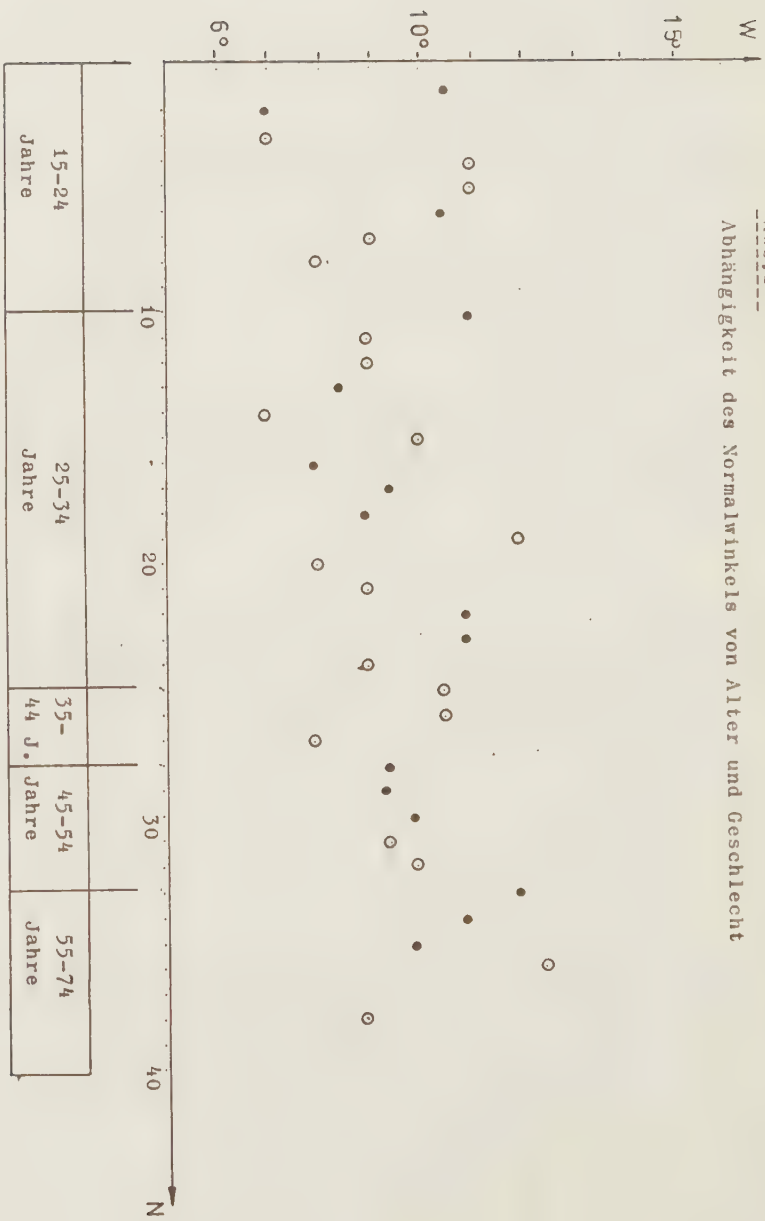
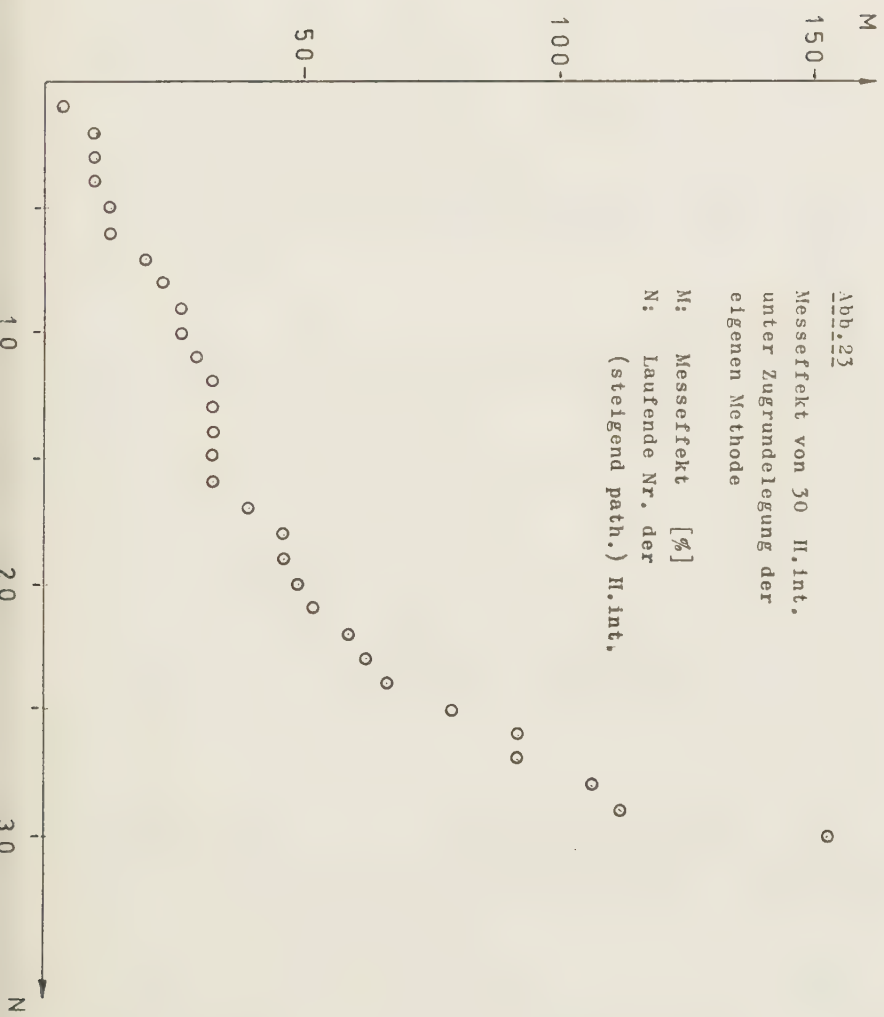


Abb. 22

Abhängigkeit des Normalwinkels von Alter und Geschlecht





Zusammenfassung

Problemstellung

Zur Unterscheidung von Pneumencephalogrammen mit altersgemäßer Form und Größe des abgebildeten Ventrikels und solchen mit einer eben als pathologisch zu wertenden Erweiterung werden heute vorwiegend vier Messmethoden zu Hilfe genommen. In der vorliegenden Arbeit sollte geklärt werden, wie die einzelnen Methoden in Bezug auf die frühzeitige und diagnostisch zuverlässige Erkennung von hydrocephalen Erweiterungen zu bewerten sind.

Untersuchungen

Als Bewertungsgrundlage wurde eine Reihe von Kriterien für die "Brauchbarkeit" dieser sogenannten linearen Messmethoden ermittelt. Im Wesentlichen wurden folgende Gesichtspunkte untersucht:

- 1.) Inwieweit können die der Unterscheidung zugrundegelegten Normalwerte durch die eigene Statistik (287 Normalfälle) bestätigt werden.
- 2.) Welchen Einfluss haben die individuellen Schwankungen der jeweils festgelegten Normalwerte auf die Sicherheit des Messergebnisses.
- 3.) In welchem Ausmaß spricht die Methode auf Erweiterungen an, von welchem Grad der Erweiterung an ist dieser "Messeffekt" als signifikant zu bezeichnen.
- 4.) Wo können methodische Fehler auftreten bzw. wie stark ist ihre Auswirkung auf das Messergebnis bei den einzelnen Methoden. Zur objektiven Überprüfung der Kriterien 1-3 wurden Beziehungen formuliert, welche unter Verwendung der Messergebnisse aus dem eigenen Material (287 Normalfälle, 50 H. int.) konkrete Zahlenangaben zum Vergleich der vier Methoden liefern.

Ergebnisse:

Neben der Darlegung der speziellen Problematik der einzelnen Methoden wurde ein Vergleich der Messmethoden untereinander angestellt.

Die wichtigsten Ergebnisse sollen hier kurz zusammengefasst werden.

- 1.) Die vier Messmethoden führen zu stark voneinander abweichenden Messergebnissen.

- 2.) Eine zuverlässige Unterscheidung normaler Ventrikel von frühen Stadien der pathologischen Erweiterung ist bei keiner der vier Methoden möglich.
- 3.) Die jeweils zugrundegelegten Normalwerte erwiesen sich - nach eigener Statistik - in allen vier Fällen als zu hoch bzw. zu niedrig. Das Ausmaß der Abweichungen war unterschiedlich.
- 4.) In den "Hinweisen zur Anwendung der Methoden" wurden die methodischen Auswertungsfehler und die Grenzen der sicheren Aussage aufgezeigt. Gleichzeitig finden sich Verbesserungsvorschläge um die methodischen Fehler zu verringern und die Sicherheit der Aussage zu erhöhen.
- 5.) Soweit eine Pauschalbeurteilung überhaupt gemacht werden kann, läßt sich zusammenfassend feststellen, daß die Methoden von SCHALTENBRAND und LAUBER keine zuverlässige Unterscheidung zwischen normalen und pathologisch erweiterten Ventrikelsystemen treffen können.

Die Methode von LAUBER läßt sich zum Teil durch Korrektur der Normgrenzen noch verbessern. Bei der Methode von SCHIERSMANN ist die Aussage über die pathologische Wertigkeit des Ventrikels unsicher; wenn überhaupt, so werden nur schwerere H.int. als solche diagnostiziert. Lediglich die Methode von SCHATZKY läßt nach einer Korrektur des Normalwertes bei mittelgradigen bis schweren H.int. einen signifikanten Unterschied zu Normalfällen erkennen. Frühe H.int. lassen sich ebenfalls nicht eindeutig von Normalfällen abgrenzen.

Eigene Methode

Die Unsicherheit des Normalwertes, welche durch die individuellen Größenunterschiede normaler Ventrikel bedingt ist, stellt das Hauptproblem der linearen Messmethoden dar und ist letztlich die Ursache für die unbefriedigenden Ergebnisse.

Bei der eigenen Methode, die im letzten Abschnitt der Arbeit zur Diskussion gestellt ist, wird als Normalwert ein Winkelmaß verwendet, welches lediglich von der Form des Ventrikels, nicht aber von seiner Größe abhängt. (Winkelkonstanz bei geometrischer Ähnlichkeit). Die früheste Formveränderung des Ventrikels hat eine Vergrößerung des Winkels zur Folge.

Durch Nachmessungen am eigenen Bildmaterial konnte gezeigt werden, daß auf diese Weise eine gute Abgrenzung zwischen Normalfällen und H.int. möglich ist.

Die Messung spricht bereits auf frühe Stadien der Erweiterung an, wobei der Messeffekt größer ist als bei den untersuchten vier Methoden.

Literaturverzeichnis

- (1) SCHIERSMANN, O.: Einführung in die Encephalographie. Thieme, Stuttgart (1952).
- (2) SOYKA, D.: Fortschritte der Neurologie - Psychiatrie. 37. Jahrgang Heft 1, Stuttgart (1969).
- (3) SCHATZKY, R., BAXTER, D.H., TROYLAND, C.E.: N. England. J. Med., 236, 422 (1947).
- (4) LAUBER, H.: Das Pneumencephalogramm. Meßverfahren bei Erwachsenen. Barth, München (1965).
- (5) NÜRNBERGER, S., SCHALTENBRAND, G.: Messungen am Encephalogramm. Dtsch. Z. Nervenheilkunde, 174, 1-15 (1955).
- (6) KEHRER, H.E.: Der Hydrocephalus internus und externus. Seine Klinische Diagnose und Therapie. Monatsschrift für Psychiatrie und Neurologie, 15/16, Basel (1955).

Nachwort

Herrn Prof. Dr. D. SOYKA, Universitätsnervenklinik Erlangen,
danke ich sehr für die Überlassung des Themas und die freund-
liche Unterstützung bei der Bearbeitung.

Lebenslauf

Am 13. September 1945 wurde ich als Tochter des Volksschullehrers Eduard Engerer und seiner Ehefrau Maria, geb. Habelt, in Burgsalach/Krs. Weißenburg geboren.

Nach der Volksschulzeit 1951 - 1956 besuchte ich die Oberrealschule in Dinkelsbühl, später in Ansbach, wo ich 1966 das Reifezeugnis erhielt.

1966 begann ich das Studium an der Universität Erlangen. Nach einem naturwissenschaftlichen Semester erhielt ich die Zulassung zum Studium der Medizin.

Im Februar 1973 legte ich die ärztliche Prüfung an der Universität Erlangen ab.

